

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou**



**Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Automatique**

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN AUTOMATIQUE

Présenté par

BERKOUN Redouane

ZAMOUM Ahmed

le 08/07/2009

Thème

**AUTOMATISATION DE MACHINE DE
THERMOFORMAGE FABRICATION DES CONTRE-
PORTES FRIGORIFIQUES A L'ENIEM**

Devant le jury composé de :

Président : MAIDI Ahmed

Promoteur : CHILALI Ouerdia

Co-Promoteur : LIHIANI Ahmed

Examineur : KHERRAZ Khadidja

Examineur : AKROUF Said

Promotion 2009

SOMMAIRE

Préface	1
----------------------	---

Introduction générale	3
------------------------------------	---

Chapitre I : Description et étude du fonctionnement de la machine

1. Introduction.....	6
2. Description générale de la machine.....	7
3. Partie opérative.....	8
3.1. La structure mécanique.....	8
3.2. Les pré-actionneurs.....	10
3.3. Les actionneurs.....	12
3.4. Les capteurs.....	14
3.4.1. Capteur de position.....	14
3.4.2. Capteur de temporisation (minuterie).....	15
4. Partie commande.....	17
5. Fonctionnement de la machine.....	21
6. Le circuit électrique.....	23
7. Cahier des charges.....	24
8. Conclusion.....	24

Chapitre II : Conception du nouveau système

1. Introduction.....	25
2. Description du nouveau système conçu.....	25
2.1. Partie opérative.....	25
2.1.1. Structure mécanique.....	25
2.1.2. Les pré-actionneurs.....	29
2.1.3. Les actionneurs.....	30
A. Les vérins.....	30
B. Les moteurs.....	32
C. Les ventouses.....	33
2.1.4. Les capteurs.....	35
3. Conclusion.....	38

Chapitre III : Modélisation par outil GRAFCET

1. Introduction.....	39
2. Définition.....	39
3. Règles d'évolution.....	40
3.1.1. Règle de syntaxe.....	40
3.1.2. Règle d'évolution.....	40
4. Règle de construction d'un GRAFCET.....	41
5. Les différents types d'actions associées aux étapes.....	42
5.1.1. Actions continues (simples).....	42
5.1.2. Actions mémorisées.....	43

5.1.3. Actions conditionnelles.....	44
5.1.4. Actions retardées.....	44
5.1.5. Actions à durée limitée.....	44
6. Niveaux du GRAFCET.....	45
7. La mise en équation d'un GRAFCET.....	46
8. Modélisation de notre nouveau système.....	48
8.1.Grafcet niveau 1.....	51
8.2.Grafcet niveau 2.....	55
9. Conclusion.....	60

Chapitre IV : Introduction aux automates programmables

1. Introduction.....	61
2. Automates programmables industriels (API).....	61
2.1. Architecture et fonctionnement d'un automate.....	62
2.2. Choix d'un automate.....	63
3. L'automate S7-300.....	64
3.1. Constituant de l'automate S7-300.....	64
3.1.1. Le module d'alimentation (PS).....	65
3.1.2. Description de la CPU.....	65
3.1.3. Module de coupleurs (IM).....	66
3.1.4. Module de signaux (SM).....	66
3.1.5. Modules d'entrées / sorties tout ou rien (TOR).....	66
3.1.6. Modules d'entrées et de sorties analogique.....	67
3.1.7. Module de fonction (FM).....	67
3.1.8. Module de communication (CP).....	67
3.1.9. Châssis d'extension (UR).....	67
3.2. Fonctionnement de base d'un API.....	67
3.2.1. Module central CPU.....	67
3.2.2. Réception des informations sur les états du système.....	68
3.2.3. Extension du programme utilisateur.....	68
3.2.4. Commande du processus.....	68
3.3. Programmation de l'automate S7-300.....	68
3.3.1. Création d'un projet STEP 7.....	69
3.3.2. Configuration du matériel de l'automate.....	72
3.3.3. Création de la table de mnémoniques.....	73
3.3.4. Adressage des modules du S7-300.....	73
3.3.5. Mémentos.....	73
3.3.6. Traitement du programme par l'automate.....	73
3.3.7. Principe de conception d'une structure du programme.....	74
3.3.8. Les blocs dans le programme utilisateur.....	74
3.3.9. Structure du programme utilisateur.....	75
4. Implantation du GRAFCET dans le S7-300.....	77
5. Simulation du programme.....	78
5.1. Présentation du S7 PLCSIM.....	78
5.2. Mise en route du logiciel.....	78
5.3. Visualisation de l'état du programme.....	80
5.4. Simulation des différents blocs du programme de notre machine.....	81
5.4.1. Simulation de FC1 dans OB1.....	81
5.4.2. Simulation de FC2 dans OB1.....	82

5.4.3. Simulation de FC3 dans OB1.....	83
6. Conclusion.....	84
Conclusion générale.....	85

Annexes

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Documentation ENIEM.
- [2] : L.Mobarek et F.Hammiche, « Automatisation d'une machine de fabrication de contre-portes de réfrigérateur à l'ENIEM », mémoire d'ingénieur, département automatique, UMMTO, année 2005.
- [3] : R.David et H.Alla « Du Grafcet Aux Réseaux De Petri ».
- [4] : C.Merland, J.Perrin, J.P.Trichard « Informatique Et Automatique Industriel » Edition DUNOD.
- [5] : G.Michel « Les API Architecture Et Application Des Automates Programmables Industriels ».
- [6] : Site web ; WWW.Stielec-ac-aix-marseille.fr/electrotech/cour.htm.
- [7] : Site internet : P.TRAUM « le GRAFCET et sa mise en œuvre » cours disponible sur <http://pat.fr.st>.
- [8] : Site web: <http://www.wissem-benali.123.fr>.
- [9] : Site web: <http://www.philipe.berger2.free.fr/automatique/cours>.
- [10] : R.Fraoucene et O.Kahil, « Etude de l'automatisation par API S7-300 de la machine de découpage et poinçonnage des contre-portes frigorifiques à l'ENIEM », mémoire d'ingénieur. Département automatique, UMMTO, année 2008.
- [11] : A.Belkacemi, et S.Boukherroub, « Etude de l'automatisation par automate programmable S7-300 de la chaîne de fabrication des armoires frigorifiques de l'ENIEM », mémoire d'ingénieur. Département automatique. UMMTO , année 2007.
- [12] : Documentation techniques de SIEMENS.



Preface

L'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager (ENIEM) est issue de la restructuration de la société nationale de fabrication et de montage du matériel électrique (SONELEC). Elle a été créée par décret N°33-19 du 02 janvier 1983. Son rôle est d'assurer la production, le montage, le développement et la recherche dans les différentes branches du domaine de l'électroménager dont :

- Les équipements de climatisation et conservation.
- Les équipements de réfrigérateurs et de cuisson.
- Les lampes à incandescence.

L'ENIEM est dotée de deux unités de production :

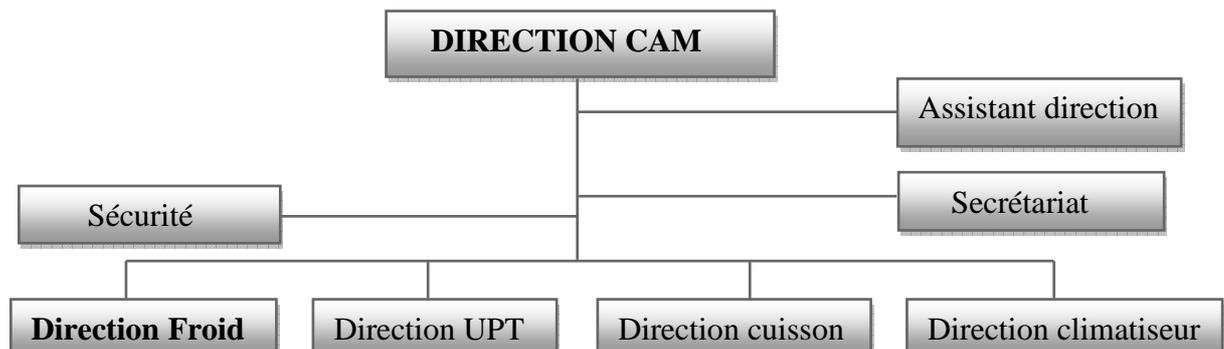
- Le complexe d'appareils ménagers (CAM) de Oued Aissi
- L'unité de lampes de Mohammadia (ULM)

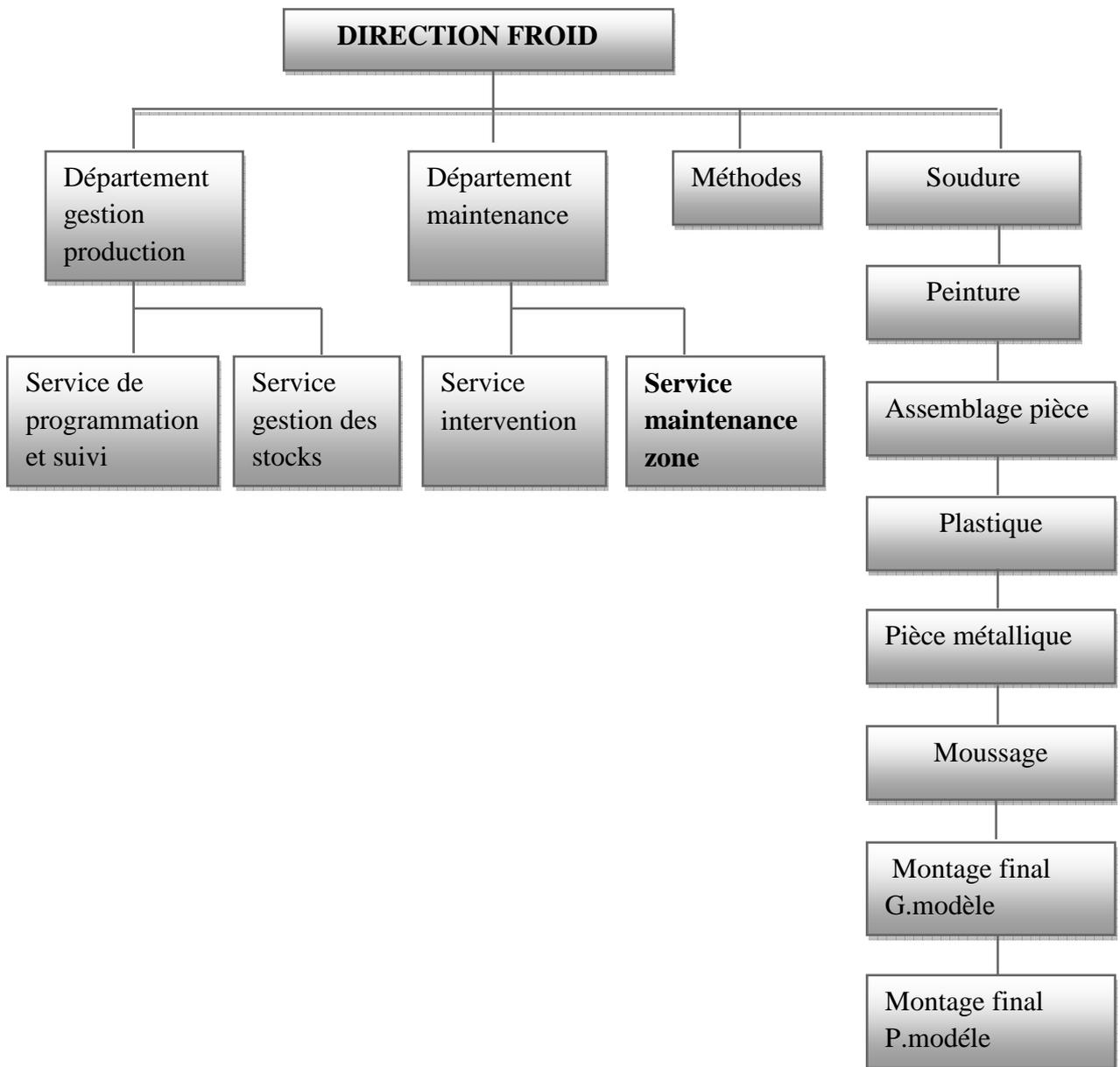
Organisation du complexe d'appareils ménagers (CAM)

La CAM est l'une des plus grandes unités industrielles de production du pays. Mise en marche en juin 1977 selon la formule « clé en main ». Elle a connue les évolutions suivantes :

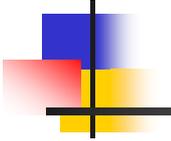
- Phase de démarrage et de stabilisation de la production du CAM par le constructeur BOSCH en 1980.
- Phase de maîtrise du processus de fabrication et du montage par le personnel national et initialisation de développement de réfrigérateurs et cuisinières et production de petits appareils ménagers.
- Création de l'ENIEM entre 1983 et 1985.
- Réalisation des opérations de développement en 1985.
- Transfert de propriété de la nouvelle usine réfrigérateur du constructeur MIT-SUIT-TOSHIBA à l'ENIEM.

L'organisation interne du complexe d'appareils ménagers se fait comme suit :





Nous avons effectués notre stage à l'unité froid, service maintenance.



Introduction générale

L'automatisation est un domaine pluridisciplinaire qui associe les notions de la mécanique, de l'électronique et de l'informatique. Elle permet d'exécuter des tâches industrielles avec une intervention humaine très réduite. Elle devient, ces dernières années, le centre de préoccupation d'un bon nombre d'entreprises à cause de son évolution vers l'étude et la maîtrise des systèmes de plus en plus complexes, permettant l'exécution et le contrôle de tâches techniques par des machines fonctionnant sans intervention humaine, ou avec une intervention réduite.

Avec le progrès technologique, l'automatisation des installations constitue un des facteurs essentiels contribuant à la croissance de la productivité, et un élément important dans l'amélioration de la sécurité du travail ainsi que la réduction des coûts de production.

L'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager (ENIEM), a débuté l'expérience des installations automatisées, en introduisant les Automates Programmables Industriels, suite à l'intervention de la firme BOSCH (Allemagne) en 1977 et TOSHIBA (Japon) en 1987.

L'ENIEM axe sa politique de qualité sur l'amélioration de ses produits et ses services afin d'obtenir des produits à qualité uniforme, et faire face à une concurrence rude des firmes internationales d'électroménager. La compétitive des entreprises exige une automatisation de plus en plus flexible et évolutive des équipements de production. Ce qui explique la rude concurrence entre les firmes internationales (SCHNEIDER, SIEMENS, BOSCH, etc.) qui produisent les API.

Le sujet qui nous a été proposé, par le département maintenance de l'unité froid, consiste à faire une étude et une modélisation de la machine qui fabrique les contres portes frigorifiques par le processus du thermoformage afin de l'automatiser, vu que cette dernière fonctionne en mode manuel et en mode semi-automatique, nécessitant toujours l'intervention de l'opérateur humain (que se soit en mode manuel ou en mode semi-automatique) d'où les inconvénients suivants :

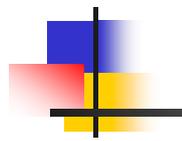
- Les tâches pénibles attribuées à l'opérateur humain (la fatigue, la vitesse d'exécution, etc.).
- Le ralentissement de la productivité en raison des paramètres précédents.
- Absence de l'opérateur implique arrêt de la machine.

- Qualité et précision.

Tous ces inconvénients ne peuvent qu'appuyer l'idée de mener, impérativement, une étude d'automatisation qui pourrait éliminer radicalement toutes les imperfections, ou du moins atténuer les plus importantes.

Pour se faire, nous avons organisé notre mémoire comme suit :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la description et l'étude du fonctionnement de la machine ILLIG.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à la conception du nouveau système automatisé.
- ✓ Le troisième chapitre est réservé à la modélisation de la machine à l'aide du GRAFCET.
- ✓ Le quatrième chapitre est consacré à la présentation de l'automate programmable S7-300 ainsi que la programmation et simulation du nouveau système conçu.
- ✓ Nous terminons notre travail par une conclusion générale.



Chapitre I :

Description et étude du fonctionnement de la machine

1. Introduction

La machine étudiée est semi automatique. Elle sert à fabriquer des contre portes de réfrigérateurs de format petit modèle, selon le moule choisi. Elle occupe une place très importante dans la chaîne de production des réfrigérateurs.

La Figure I.1 donne la photographie de cette machine.

Le thermoformage est une technique qui consiste à prendre un matériau sous forme de feuille (verre, plastique...), à le chauffer pour le ramollir, et à profiter de cette flexibilité pour le mettre en forme désirée avec un moule.

Dans ce chapitre, nous décrivons le fonctionnement de la machine et les éléments qui la composent.



Figure I.2 : photographie de la machine ILLIG.

2. Description générale de la machine

La machine **ILLIG UA150 Edb** est une machine semi automatique de thermoformage. Elle sert à fabriquer des contres portes frigorifiques (petits modèles). Elle est d'une nécessité importante dans la chaîne de production des réfrigérateurs, dont la présence de l'opérateur humain est indispensable (pour la mise et l'enlèvement des feuilles, ainsi que l'enclenchement et l'arrêt de la machine).

La machine **ILLIG UA150 Edb** est constituée de différents modules (Figure I.2) :

- La partie opérative : composée de la partie mécanique, des pré-actionneurs, des actionneurs, des capteurs et du circuit pneumatique.
- La partie commande : constituée d'une armoire de commande.
- Les interfaces d'entrées /sorties (E/S).
- Le circuit électrique d'alimentation.

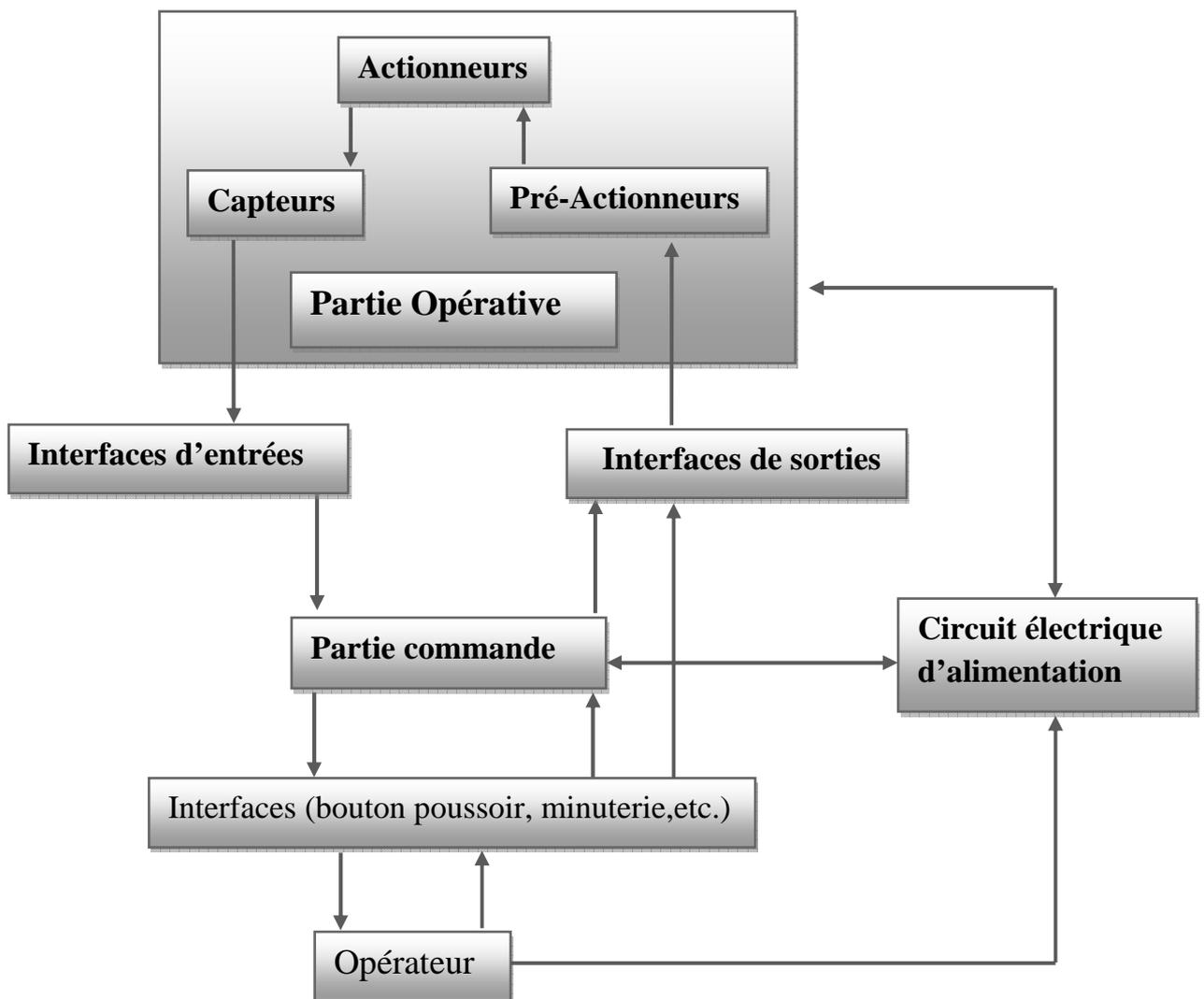


Figure I.2 : différents modules de la machine.

3. Partie opérative

3.1. La structure mécanique

Les éléments mécaniques décrits ci-après sont représentés dans la figure I.3 :

- ☞ **Le bâti** : C'est une construction robuste en acier soudé, supportant les éléments de la machine et entièrement capoté par des anneaux.
- ☞ **Cadre de serrage** : Constitué d'un cadre mobile et d'un autre qui est fixe. Le cadre fixe est vissé sur le caisson de soufflage défini ci-après. Il est entouré d'une bande de caoutchouc assurant l'étanchéité. Concernant le point mobile, c'est une construction robuste de profilé en U. Il est monté sur les charnières de façon à pivoter et à pincer, fermement, la feuille plastique en position de verrouillage.
- ☞ **Caisson de soufflage** : Situé sous le cadre de serrage. Lorsque la feuille en plastique le recouvre, il est parfaitement étanché. Il abrite la table de formage et l'élément de chauffage inférieur. Il n'est pas prévu pour supporter des pressions autres que celles des travaux du thermoformage (environ : $0,3\text{kg}/\text{cm}^2$). Ce caisson est prolongé, à sa partie postérieure, par une boîte abritant l'élément de chauffage inférieur, lorsque celui-ci est en position de recul.
- ☞ **Table de formage** : Elle est guidée dans le caisson de soufflage. Ses mouvements sont commandés par un vérin pneumatique placé sous le caisson de soufflage. La bordure extérieure de la table est recouverte d'un joint en caoutchouc (12mm x 12mm). Ce dernier, lorsque la table est en position haute, vient en appui sous le cadre fixe. La table comporte, en son centre, un alésage servant de conduit de vide et du soufflage.
- ☞ **Élément de chauffe** : Le chauffage est composé d'éléments de chauffe supérieur et inférieur. Ces deux éléments sont mobiles et peuvent être commandés indépendamment l'un de l'autre. Leur entraînement est assuré par des vérins pneumatiques. En position de recul, l'élément de chauffage inférieur est abrité par une hotte. Celle-ci limite les pertes thermiques par rayonnement ou autres. La température de cette hotte est contrôlée par un thermostat commandant, automatiquement, la mise hors circuit du chauffage inférieur, lorsque la température de la hotte arrive à celle affichée sur le thermostat. Le thermostat est réglable et la température de coupure doit être réglée suivant les conditions de travail. Dans notre

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

cas, c'est à 170°C. Les éléments de chauffe sont dotés d'émetteurs infrarouges céramiques.

☞ **Piston supérieur** : Le piston supérieur, du vérin double effet, repose sur une traverse en U à montant, particulièrement, robuste. C'est lui qui porte le formateur.

☞ **Deux réservoirs** : La machine comporte deux réservoirs. L'un à pour but de stocker, à l'abri des poussières, la quantité d'air nécessaire au fonctionnement correcte de la machine et l'autre pour le vide.

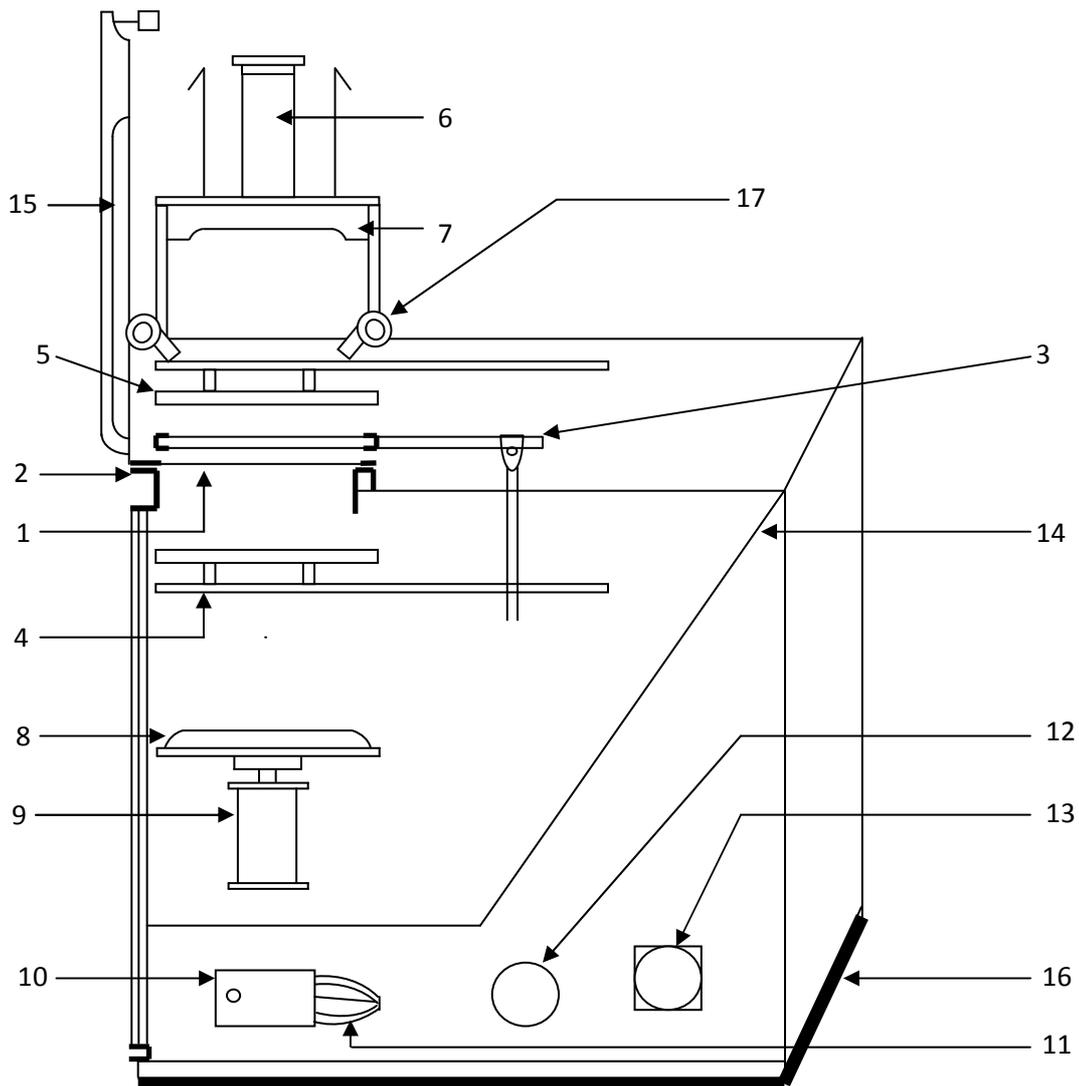


Figure I.3 : représentation schématique de la vue de face de la machine.

- | | | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1. feuille en plastique. | 7. le formateur. | 12. réservoir du vide. |
| 2. cadre de serrage fixe. | 8. table de formage. | 13. réservoir d'air. |
| 3. cadre de serrage mobile. | 9. vérin de table. | 14. caisson de soufflage. |
| 4. chauffage inférieur. | 10. pompe à vide. | 15. grille de protection. |

5. chauffage supérieur. 11. moteur de la pompe à vide. 16. le bâti.
6. piston du vérin supérieur. 17. ventilateur.

3.2. Les pré-actionneurs

Un pré-actionneur est un composant de gestion de l'énergie de commande. Parmi les différents actionneurs, on distingue l'électrovanne.

L'électrovanne est un pré-actionneur électropneumatique TOR (tout ou rien), permettant le passage de l'air véhiculé dans le circuit pneumatique. Elle est constituée, principalement, d'un corps de vanne où circule l'air. Elle est munie d'une bobine alimentée électriquement et engendrant une force magnétique qui déplace le noyau mobile, qui agit sur l'orifice de passage. En se déplaçant, le noyau peut permettre ou ne pas permettre le passage de l'air. Le champ de pression dépend directement de la force d'attraction de la bobine. Le bobinage doit être alimenté d'une façon continue pour maintenir le noyau attiré. Sur la machine de thermoformage, plusieurs types d'électrovannes sont utilisés selon le nombre d'orifices, de position et leur sens de passage dans chaque position (pression, échappement). Ces dernières sont commandées par une tension de 220V.

A. Électrovanne (2/2)

A.1. Avec ressort de rappel

Elles sont utilisées, généralement, pour bloquer un vérin dans une position. Quand il n'y a pas d'alimentation, le noyau revient à sa position grâce au ressort de rappel (Figure I.4).

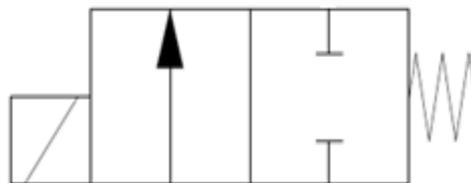


Figure I.4 : électrovanne (2/2) avec ressort de rappel.

On distingue 3 électrovannes de ce type dans la machine :

- La première est utilisée pour le vide.
- La deuxième est utilisée pour l'inversion du vide.
- La troisième est utilisée pour la sécurité table-chauffage inférieur (quand le chauffage inférieur est avancé, la table doit être en bas et inversement).

A.2. Sans ressort de rappel

Le noyau revient à sa position grâce à l'excitation de la deuxième bobine (Figure I.5). On ne distingue qu'une électrovanne de ce genre dans la machine. Elle est utilisée pour le soufflage.

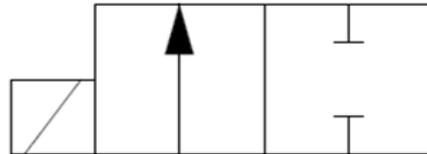


Figure I.5 : électrovanne (2/2) sans ressort de rappel.

B. Électrovanne (4/2)

Elle possède quatre orifices et deux positions. On trouve cinq électrovannes de ce type dans la machine, deux d'entre elles ont un sens de passage (Figure I.6). Elles sont utilisées pour le piston supérieur et la table de formage.

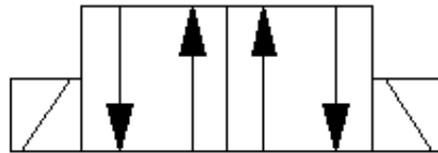


Figure I.6 : électrovanne (4/2).

Les trois autres électrovannes ont le sens de passage illustré sur la Figure I.7. Elles sont utilisées pour le chauffage supérieur, le chauffage inférieur et le verrouillage.

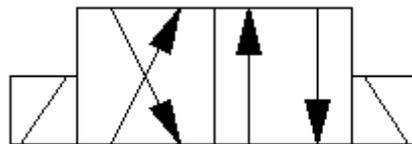


Figure I.7 : électrovanne (4/2).

C. Électrovanne (5/4)

Elle possède 5 orifices et 4 positions (Figure I.8). La machine comporte une seule électrovanne de ce type. Elle est utilisée pour le cadre de serrage.

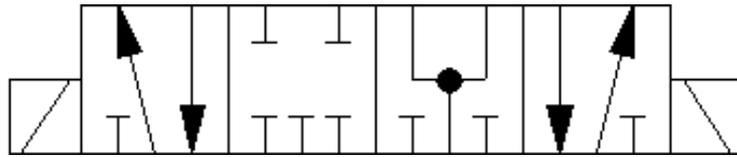


Figure I.8 : électrovanne (5/4).

3.3. Les actionneurs

Un actionneur est un composant qui transforme une énergie, prélevée sur une source extérieure, en une action physique sur la matière d'œuvre.

En automatisation industrielle courante, les vérins pneumatiques sont des actionneurs forts utiles. Les actionneurs de la machine utilisée sont composés de vérins doubles effets et des moteurs.

A. Vérin à double effet

Ce type de vérin (Figure I.9) développe une force disponible à l'allée comme au retour, pour produire du travail. Il a deux directions de travail et comporte deux orifices d'alimentation.

A tout vérin (actionneur) est associé un distributeur (pré-actionneur) indispensable pour son fonctionnement. La pression est distribuée alternativement de chaque côté du piston, afin d'assurer son déplacement dans un sens, puis dans l'autre.

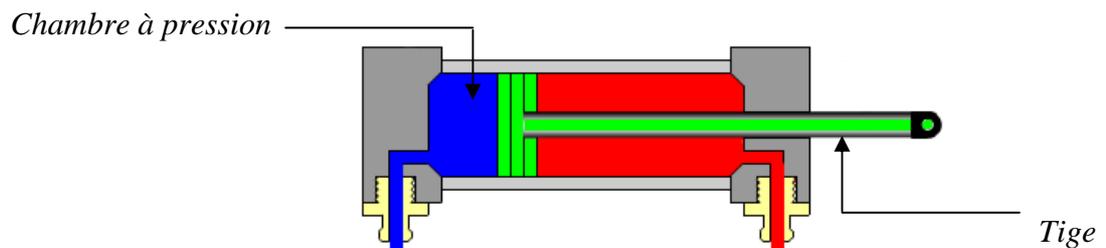


Figure I.9 : vérin à double effet.

La machine de thermoformage comporte sept vérins de ce type :

- 1 vérin pour le déplacement du piston supérieur qui porte le formateur ;
- 1 vérin pour le déplacement du chauffage supérieur ;
- 1 vérin pour le déplacement du chauffage inférieur ;
- 1 vérin pour le déplacement de la table de formage ;
- 2 vérins pour le déplacement de la table de serrage ;

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

- 1 vérin pour le verrouillage du cadre de serrage.

B. Les moteurs

Un moteur est une machine électrique servant à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Il est basé sur le principe de l'action d'un champ tournant sur un enroulement en court-circuit. Les moteurs sont des actionneurs électriques forts utilisés en milieu industriel, ils varient selon la tâche à accomplir.

Plusieurs critères entrent en jeu pour le choix du type de moteur à utiliser :

- ☞ Une première sélection est faite sur la base de la vitesse.
- ☞ Une deuxième sélection est faite à partir des besoins en couple et vitesse (puissance).
- ☞ Ensuite il faut vérifier que l'échauffement du moteur, en fonctionnement, est compatible avec la classe du moteur proposé par le constructeur.

La machine étudiée est équipée de deux moteurs asynchrones triphasés à un seul sens de rotation.

- **Moteur de la pompe à vide** : La pompe assure la mise à vide du caisson de chauffage lors du thermoformage (Figure I.10). La valeur du vide atteint est donnée par un vacuomètre (vide atteint environ 0,95Kg/cm²). La pompe à vide à une grande susceptibilité hygroscopique.

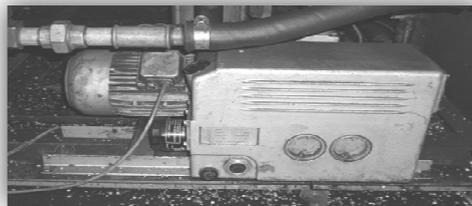


Figure I.10 : moteur de la pompe à vide.

- **Moteur des 4 ventilateurs** : Pour un refroidissement homogène et rapide de la pièce formée avant son démoulage, quatre moteurs sont prévus. Ils sont montés sur les guides latéraux de l'élément de chauffage supérieur et sont orientables.



Figure I.11 : ventilateur.

3.4. Les capteurs

Un capteur est un élément de prélèvement d'information sur un processus. Il délivre un signal proportionnel à la grandeur qu'il mesure. Il prélève une information sur le comportement de la partie opérative et la transforme en une information exploitable par la partie commande.

L'information délivrée par un capteur peut être logique (deux états 1 ou 0), numérique (valeur), ou analogique (dans ce cas il faudrait adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique).

Les capteurs peuvent être caractérisés selon deux critères :

- La grandeur mesurée : on parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, etc.
- Le caractère de l'information délivrée : on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs Tout Ou Rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

3.4.1. Capteurs de position

Dans le déroulement d'un cycle automatisé, il est important de connaître la position exacte des vérins (tige sortie ou tige entrée), afin de faire évoluer la partie commande dans le cahier des charges. Les ordres d'évolution sont donnés par des éléments de détection (capteur de position), placés sur la machine ou implémentés directement sur le vérin, lorsque la zone de travail ne le permet pas. Ces capteurs sont à contacts et peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple ou d'une bille. L'information donnée par ce capteur est de type TOR.

Dans la machine étudiée, les capteurs de position utilisés sont de type TOR. Ils peuvent prendre deux états : au repos et actionné (Figure I.12). A chaque état correspond un signal de sortie (1 ou 0).

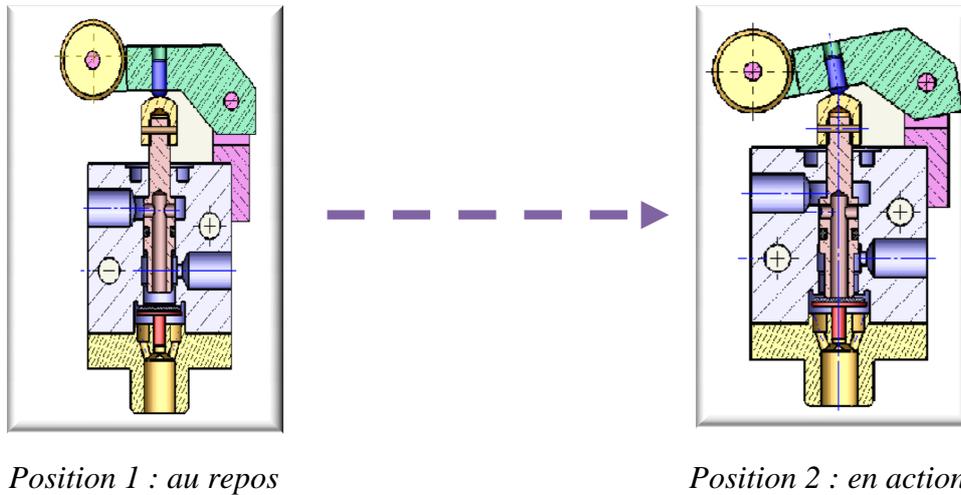


Figure 1.12 : vue de coupe verticale d'un capteur (fin de course).

On distingue sur la machine les fins de courses suivants :

- Fin de course chauffage supérieur reculé.
- Fin de course chauffage inférieur reculé.
- Fin de course table en bas.
- Fin de course table en haut-vide marche.
- Fin de course verrous ouverts.
- Fin de course cadre fermé.
- Fin de course piston supérieur en bas.

3.4.2. Capteurs de temporisation (minuterie)

Les minuteries (Figure I.13) sont réglées par l'opérateur selon la durée voulue de chaque action. Dès que l'action est activée, la minuterie se déclenche. Après écoulement du temps de la minuterie, l'action associée s'arrête.



Figure I.13 : minuterie.

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

On distingue dans la machine les minuterie suivantes :

- Minuterie temps de chauffe chauffage supérieur.
- Minuterie temps de chauffe chauffage inférieur.
- Minuterie d'inversion du vide.
- Minuterie retardement recul piston supérieur.
- Minuterie temps de refroidissement.
- Minuterie descente table.
- Minuterie arrêt air soufflage.
- Minuterie montée table.
- Minuterie montée retardée table gainage.

Remarque : Minuterie temps refroidissement = minuterie inversion du vide + temps d'activation des ventilateurs.

3.1.5. Le circuit pneumatique

La partie pneumatique, dont on peut trouver le schéma pneumatique en annexe A, est constituée de plusieurs organes qui sont :

- ❖ **Les tuyauteries** : Elles permettent la jonction et la conduction d'air, de différents appareils du circuit.
- ❖ **Régulateurs de pression** : Ils sont destinés à s'intégrer dans les ensembles de traitement d'air, alimentant chaque organe de la machine quelque soit les oscillations de la pression du réseau. Le régulateur de pression (Figure I.14) alimente, à la même pression, tous les vérins de la machine et facilite les vérifications de celle affichée sur un manomètre.

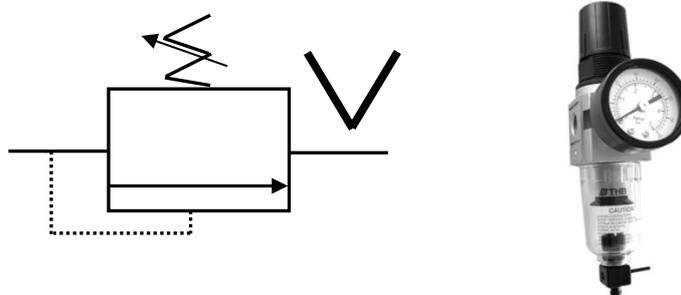


Figure I.14 : régulateur de pression et sa symbolisation.

- ❖ **Manomètre (indicateur de pression d'air)** : Il indique la pression de l'air de service dans les différents organes pneumatiques. Dès que le moteur est mis en marche, le

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

manomètre (Figure I.15) doit donner une indication prédéfinie (dans notre cas 6 bars). La pression de l'air est mesurée par rapport à une pression de référence qui doit être réglée.

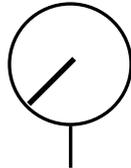


Figure I.15 : manomètre et sa symbolisation.

❖ **Vacuomètre (indicateur du vide)** : Il indique le niveau du vide atteint (Figure I.16).

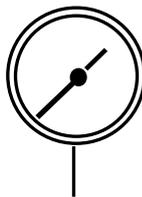


Figure I.16 : vacuomètre et sa symbolisation.

❖ **Les filtres** : L'air circulant dans l'installation véhicule toute sorte d'impuretés se trouvant à l'intérieur du circuit pneumatique. Ces impuretés sont éliminées par filtrage. Le filtre est monté sur la conduite de retour vers le réservoir, dont le rôle est de maintenir les particules indésirables pour éviter l'encrassement du système.

4. Partie commande

❖ **Dispositif de commande**

Ce dispositif commande le déroulement du cycle de travail. Tous les déplacements sont commandés par un vérin pneumatique en relation avec des boutons poussoirs (cycle coup par coup) et des électrovannes (cycle automatique programmé).

Toutes les fonctions incluses dans un cycle de formage peuvent être programmées et commandées automatiquement par relais temporisés. Par ailleurs, chaque fonction peut être commandée manuellement en coup par coup.

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

Le dispositif « armoire de commande » est placé à droite de la machine. Il est relié au coffret de commande, monté sur la machine, par un faisceau de câbles électriques. Dans l'armoire sont aménagés tous les fusibles, les contacteurs, les relais auxiliaires ainsi que la boîte à borne. Le câble principal doit être raccordé à ces bornes. Le disjoncteur doit être toujours coupé lors d'une intervention nécessitant l'ouverture de l'armoire de commande.

Le chauffage et le réglage des deux éléments de chauffe (température de l'élément de chauffe supérieur et inférieur) sont commandés par une autre armoire indépendante du cycle de formage.

❖ Table de commande :

Les éléments principaux de commande sont montrés clairement sur la console du pupitre de commande (Figure I.17).

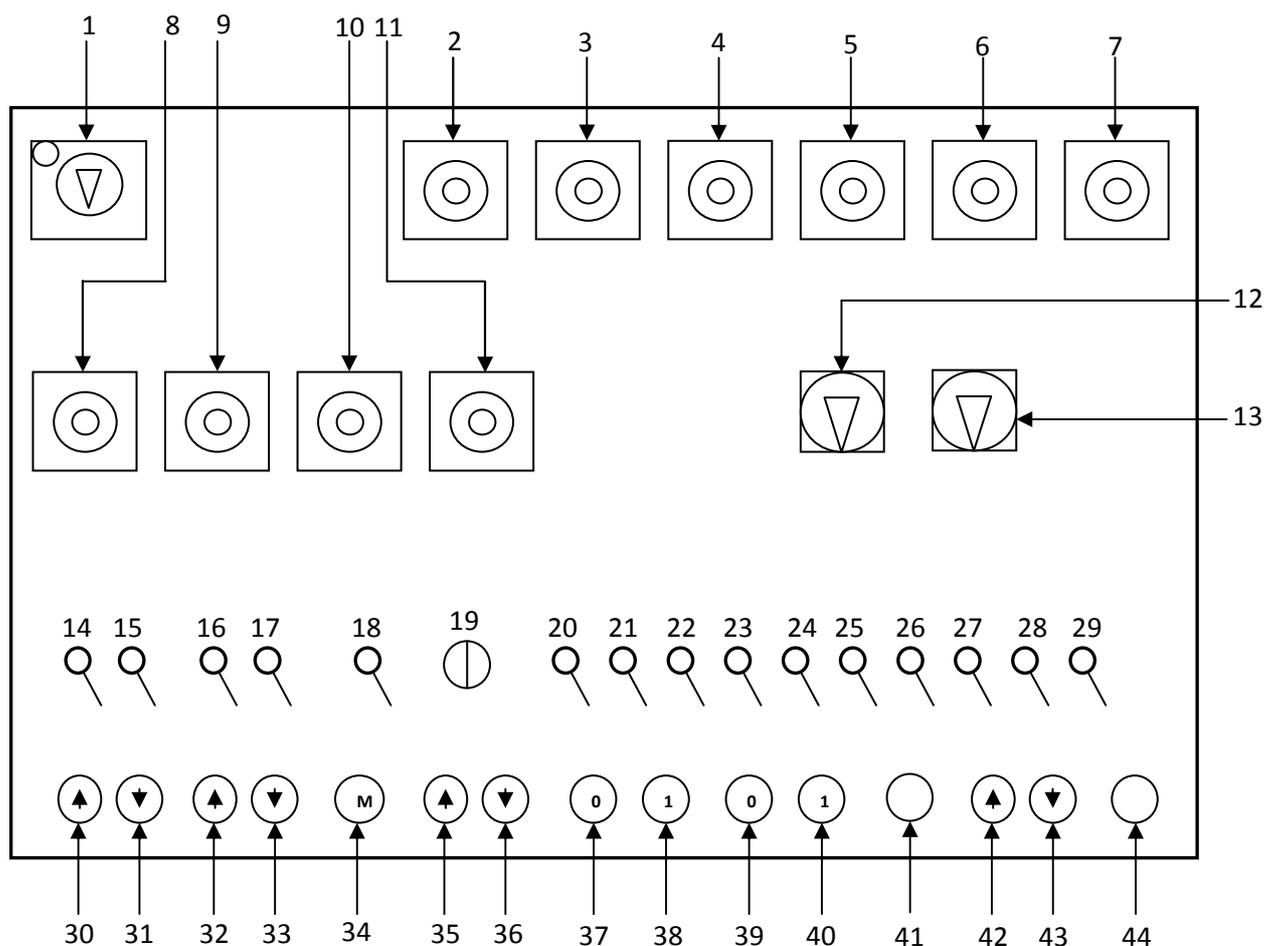


Figure I.17 : schéma de la table de commande et ses différents éléments.

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

1. Interrupteur chauffage supérieur et chauffage inférieur.
2. Minuterie de commande des ventilateurs.
3. Minuterie de commande du piston supérieur.
4. Minuterie de commande automatique du gainage.
5. Minuterie de commande du démoulage (insufflation d'air dans le moule).
6. Minuterie de commande de la descente table.
7. Minuterie de commande de l'arrêt de démoulage (arrêt de l'insufflation d'air).
8. Minuterie contrôlant le temps de chauffe du chauffage supérieur.
9. Minuterie contrôlant le temps de chauffe du chauffage inférieur.
10. Minuterie de commande du bullage.
11. Minuterie de commande de la montée table.
12. Interrupteur « marche-arrêt » de mise sous tension.
13. Interrupteur « marche-arrêt » de la pompe à vide.
14. Interrupteur basculant « recul automatique du chauffage supérieur ».
15. Interrupteur basculant « recul automatique du chauffage inférieur ».
16. Interrupteur basculant d'avancée automatique du chauffage supérieur.
17. Interrupteur basculant d'avancée automatique du chauffage inférieur.
18. Interrupteur basculant de montée automatique de la table.
19. Verrou électrique de montée automatique de la table.
20. Interrupteur basculant de commande automatique de l'aspiration (table en haut, vide marche).
21. Interrupteur basculant de commande automatique du cadre de serrage.
22. Interrupteur basculant de mise en route automatique des ventilateurs.
23. Interrupteur basculant de descente automatique du piston supérieur.
24. Interrupteur basculant de montée automatique de la table.
25. Interrupteur basculant de remontée automatique du piston supérieur.
26. Interrupteur basculant de commande automatique de l'aspiration (piston supérieur en bas, vide marche).
27. Interrupteur basculant de commande automatique du gainage.
28. Interrupteur basculant de commande automatique du bullage.
29. Interrupteur basculant de commande automatique de l'aspiration.
30. Bouton poussoir « chauffage supérieur avancé ».
31. Bouton poussoir « chauffage supérieur reculé ».

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

32. Bouton poussoir « chauffage inférieur avancé ».
33. Bouton poussoir « chauffage inférieur reculé ».
34. Bouton poussoir « chauffage supérieur et inférieur avancés ».
35. Bouton poussoir « table montée ».
36. Bouton poussoir « table descente ».
37. Bouton poussoir « vide arrêt ».
38. Bouton poussoir « vide marche ».
39. Bouton poussoir « arrêt des ventilateurs ».
40. Bouton poussoir « mise en marche des ventilateurs ».
41. Verrou électrique de la grille de protection.
42. Bouton poussoir commandant la montée du piston supérieur.
43. Bouton poussoir commandant la descente du piston supérieur.
44. Bouton poussoir soufflage.

On distingue d'autres éléments de commande sur la vue de face de la machine qui sont des vannes de réglages et des indicateurs de pression, illustrés sur la figure I.18.

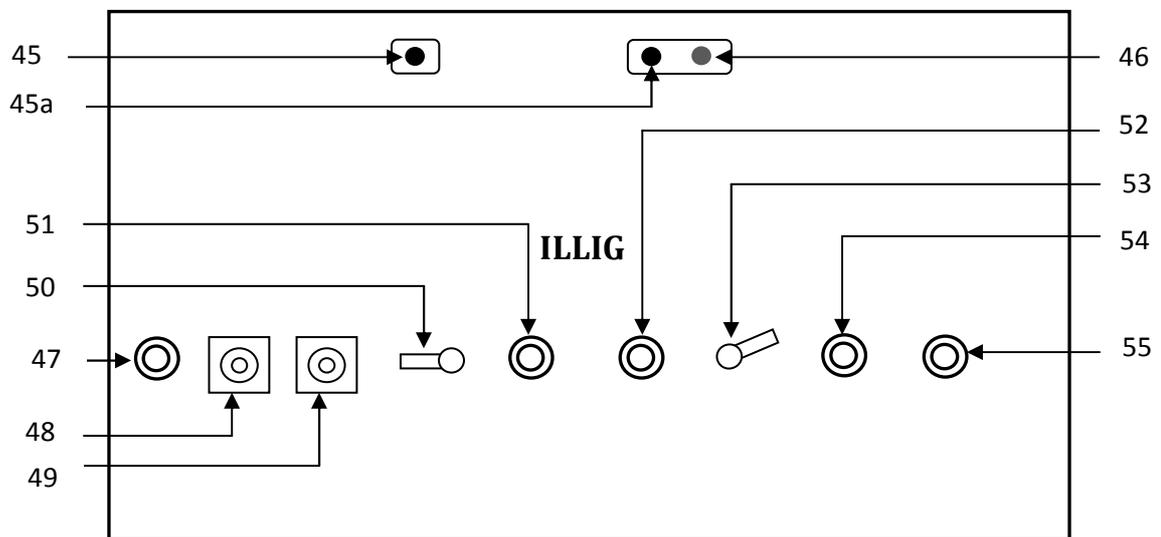


Figure I.18 : élément de commande sur la vue de face de la machine.

- 45+45a. Bouton poussoirs « fermeture du cadre de serrage et les verrous ».
46. Bouton poussoir « ouverture du cadre de verrouillage ».
47. Vanne caisson soufflage ventilation.
48. Manomètre indiquant la pression du réseau (0 - 10 bars).

49. Vacuomètre indiquant le niveau du vide.
50. Vide résiduel.
51. Vanne réglage montée table.
52. Vanne réglage descente table.
53. Air de soufflage-soufflage (démoulage manuel).
54. Réglage air de bullage.
55. Réglage air de démoulage.

5. Fonctionnement de la machine

❖ Préparatifs

- Le montage du moule (table de formage) est supposé être effectué correctement.
- Mettre la machine sous tension (interrupteur 12).
- Mise en marche de la pompe à vide (interrupteur 13).
- Mise en marche des deux éléments de chauffe. Ces éléments nécessitent un temps de préchauffage d'environ 10 min.
- Contrôler la pression d'alimentation (manomètre à 6 bars).
- Régler le temps de chauffe des deux éléments sur les minuteries correspondantes, ainsi que toutes les autres minuteries.

❖ Cycle de fonctionnement de la machine

L'opérateur prend la feuille en plastique et la pose sur le cadre de serrage fixe. Il s'arrange de façon à ce qu'il y ait une étanchéité, puis appui sur les deux boutons poussoir (N°45 et N°45a) afin de fermer le cadre de serrage mobile et les verrous. Ce qui implique automatiquement une succession de fonctions énumérées ci après :

- Avancée des deux éléments de chauffe (chauffage supérieur et chauffage inférieur).
- Recul des deux éléments de chauffe.
- Bullage (soufflage de plaque).
- Montée de la table de formage et descente du piston supérieur qui porte le formateur.
- Mise en route de l'aspiration (mise à vide).
- Remontée du piston supérieur après un temps réglé.
- Arrêt de l'aspiration et activation des ventilateurs.
- Arrêt des ventilateurs après un temps réglé.

Chapitre I Description et étude du fonctionnement de la machine

- Soufflage et descente de table.
- Ouverture du cadre de serrage.
- Retrait de la pièce par l'opérateur.

Ainsi, la machine peut recommencer un nouveau cycle

Exemple

Ce schéma (Figure I.19) explique le système de fonctionnement détaillé du thermoformage par ses différentes phases :

1. **Chauffage** : la feuille à former est chauffée par les deux éléments de chauffe placée au dessous et au dessus d'elle. Une fois l'opération terminée, les éléments de chauffe retournent à la position initiale.
2. **Monté du moule** : la table de formage monte et le piston supérieur descend et étire la feuille vers le bas.
3. **Aspiration** : la mise à vide est enclenchée pour l'évacuation de l'air emprisonné entre le moule et la feuille. Cette pression plaque la feuille sur le moule pour épouser la forme de ce dernier.
4. **Refroidissement** : après la remonte du piston supérieur, les deux ventilateurs s'enclenchent et refroidissent la feuille thermoformée.
5. **Démoulage** : après la mise à vide, descente de la table de formage, et ouverture du cadre de serrage.

Après ces étapes, la feuille formée est prête à être retirée par l'opérateur.

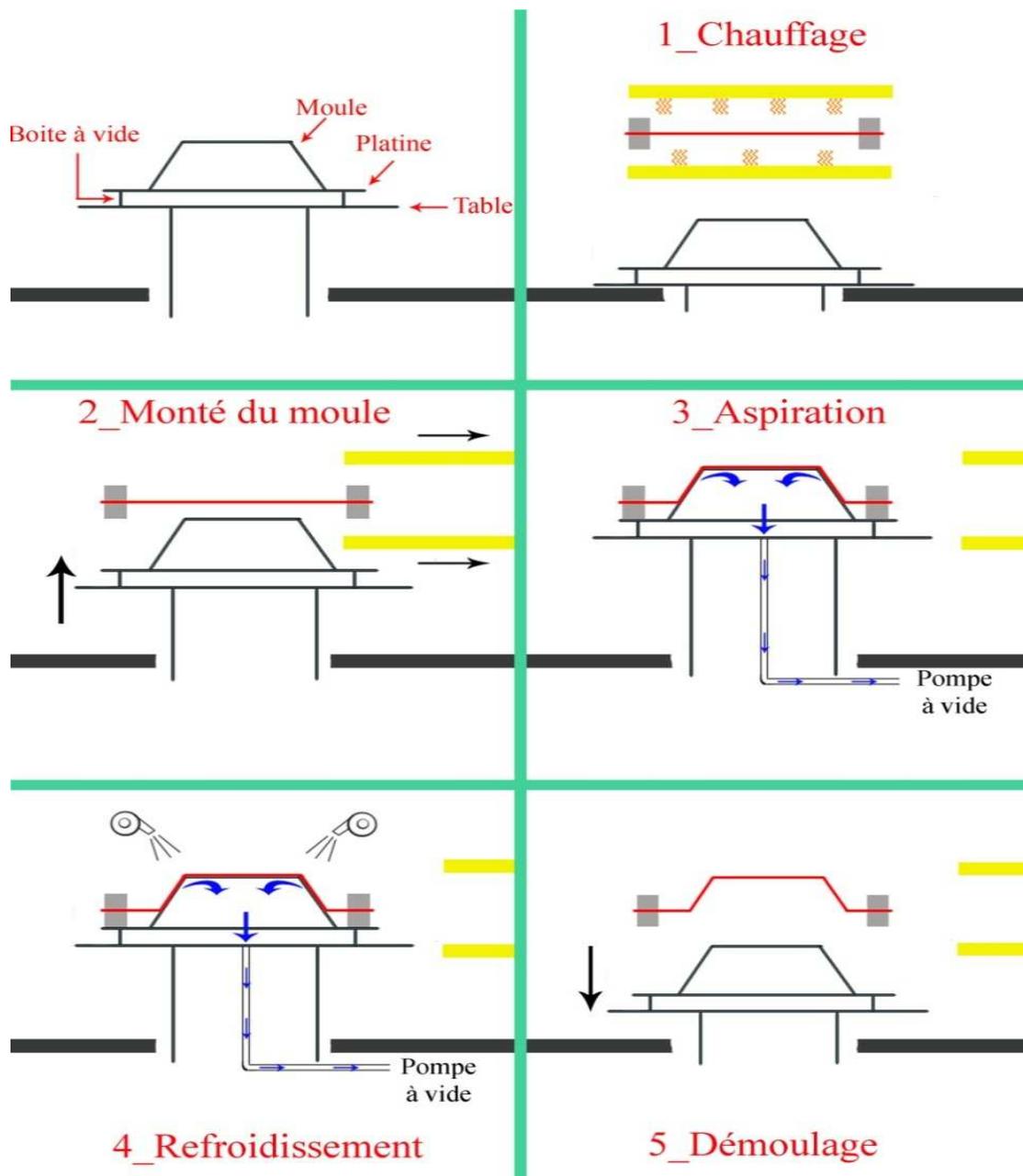


Figure I.19 : cycle de thermoformage.

6. Le circuit électrique

Le schéma électrique ainsi que la signification des différents éléments le composant sont données dans l'annexe B.

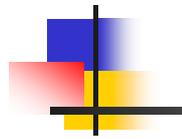
7. Cahier des charges

La machine ILLIG est une machine semi automatique dont la présence de l'opérateur humain est indispensable (pour la mise et l'enlèvement des feuilles, et le fonctionnement de la machine), ce qui représente un inconvénient majeur pour l'industrie. Ce système semi automatique rend la tâche difficile pour l'opérateur, car il est obligé d'introduire manuellement la feuille à l'intérieur de la machine, puis le cycle est mis en route après avoir appuyé sur deux boutons de démarrage du cycle.

Le travail demandé est de concevoir un nouveau système automatique plus performant dont le rendement est important, tout en supprimant le mode manuel de la machine.

8. Conclusion

Malgré la production automatisée dans les différentes industries, la machine de fabrication des contres portes de réfrigérateurs reste semi automatique et ne peut se passer de l'intervention humaine pour l'introduction et l'extraction de la feuille et pièce finie, respectivement.



Chapitre II :

Conception du nouveau système

1. Introduction

L'automatisation d'un procédé (c'est-à-dire une machine, un ensemble de machines ou plus généralement un équipement industriel) consiste à en assurer la conduite par un dispositif technologique. Donc une « machine » ou un système est dit automatisé lorsque le processus, qui permet de passer d'une situation initiale à une situation finale, se fait sans intervention humaine et que ce comportement est répétitif chaque fois que les conditions, qui caractérisent la situation initiale, sont remplies. Afin d'atteindre cet objectif, des modifications (améliorations) des systèmes existants s'avèrent souvent nécessaires.

Dans notre cas d'étude, l'objectif est d'automatiser une machine qui fabrique les contre portes de réfrigérateurs. Pour cela, nous avons choisi de concevoir un système qui comporte quatre socles portant les feuilles, un chariot rotatif comportant un vérin translatif, et un tapis roulant pour transporter la pièce vers la machine presse MÜLLER (machine de découpage et poinçonnage des contre portes de réfrigérateur).

Dans ce chapitre, nous allons décrire les modifications à apporter pour rendre la machine complètement automatique, sans intervention de l'opérateur.

2. Description du nouveau système conçu

Dans le chapitre description, nous avons vu que la machine ILLIG fonctionne en mode semi-automatique, c'est-à-dire qu'un opérateur introduit manuellement la feuille à l'intérieur de la machine puis enclenche le démarrage du cycle. Lorsque le processus est terminé, il retire manuellement la pièce finie et prépare une autre feuille pour un nouveau cycle.

Le travail demandé est d'automatiser la machine ILLIG et de concevoir un système pour l'introduction de la feuille et l'extraction de la pièce en éliminant l'intervention de l'opérateur sauf pour des cas particuliers (arrêt d'urgence, chargement des socles).

2.1. Partie opérative

2.1.1. Structure mécanique

Le nouveau système ainsi conçu sera constitué des éléments suivants :

- Un système à quatre socles rotatifs portant les pièces.

- Un moteur asynchrone, à un seul sens de rotation, pour faire tourner le système des socles.
- Un chariot rotatif sur lequel sera monté deux vérins.
- Un moteur asynchrone pour faire tourner le chariot.
- Un système de ventouses.
- Un vérin pour faire sortir la pièce finie de la machine.
- Un tapis roulant muni d'un moteur asynchrone à un seul sens de rotation.

Remarque : toutes les figures présentées dans ce chapitre sont réalisées par le logiciel 3DS Max (annexe D).

❖ **Le système à quatre socles rotatif**

C'est un système constitué de quatre socles séparées par un angle de 90° l'un de l'autre. Chaque socle se compose de deux plaques métalliques l'une verticale et l'autre horizontale pour porter les pièces, et pour faire positionner ces dernières, des barres ont été soudées sur la plaque horizontale des trois cotés (deux bars par côté).

Au milieu de ces socles, on trouve le moteur qui va entraîner le mouvement de rotation utilisant quatre tiges, sous forme d'une croix reliant chacune un socle en son extrémité (Figure II.2)

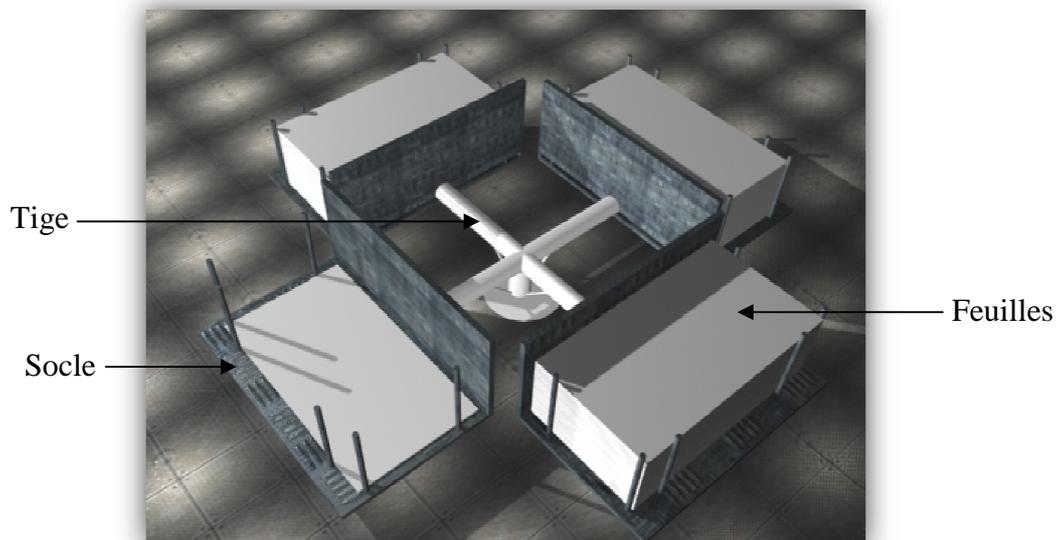


Figure II.1 : système à quatre socles

Remarque : les quatre socles sont fixés sur des roues afin de faciliter le mouvement de rotation, ainsi, l'effort exercé par le moteur sera réduit.

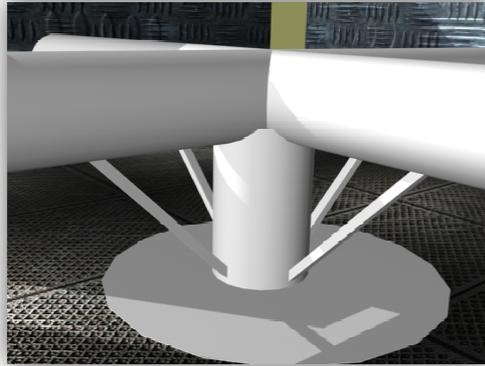


Figure II.2 : moteur

❖ **Le chariot rotatif**

Il est constitué de trois principales parties (Figure II.3)

- un moteur qui fait tourner le chariot dans deux sens différents d'un angle de 90°.
- un vérin double effet entraînant le mouvement de translation d'une plaque sur deux rails. Cette dernière porte l'ensemble du système de ventouses.

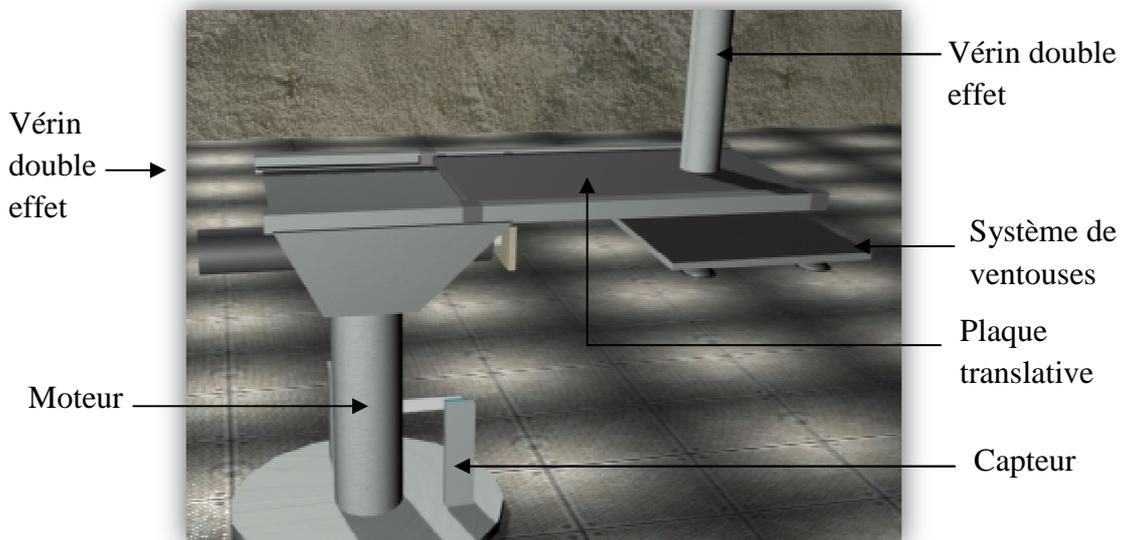


Figure II.3 : chariot rotatif.

❖ **Système de ventouses**

La ventouse est une pièce de caoutchouc qui, lorsqu'elle est pressée, adhère à des surfaces planes.

Le système sera utilisé pour soulever la pièce, et pour cela, une plaque horizontale sera fixée à un vérin qui portera les ventouses, réparties et reliées symétriquement à cette plaque (Figure II.4).

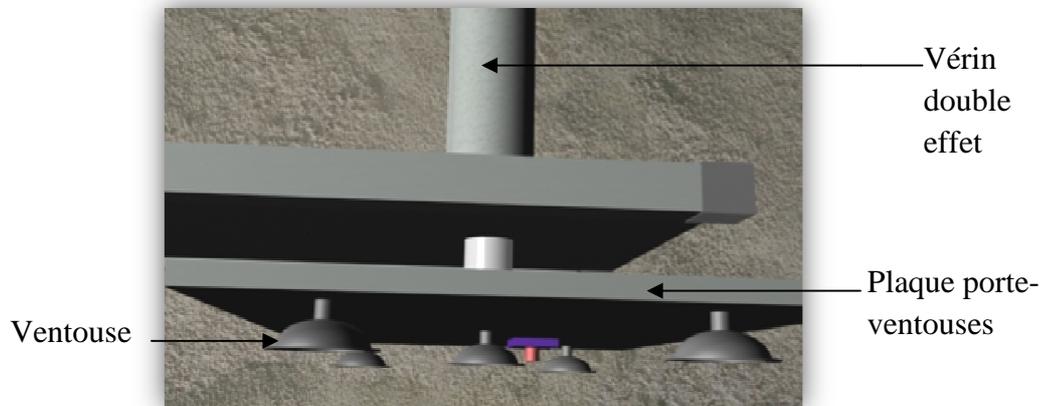


Figure II.4 : système de ventouses.

❖ Tapis roulant

Le tapis roulant permet de faire transporter du matériel à la manière d'un escalier mécanique, mis à part le fait que le tapis roulant est horizontal. Il tourne souvent dans un seul sens.

Dans notre cas (Figure II.5), il est constitué d'un ensemble de cylindres tournants entraînés par un moteur, et aussi de deux plaques de guidage de chaque côté, pour éviter la sortie de la pièce du tapis.

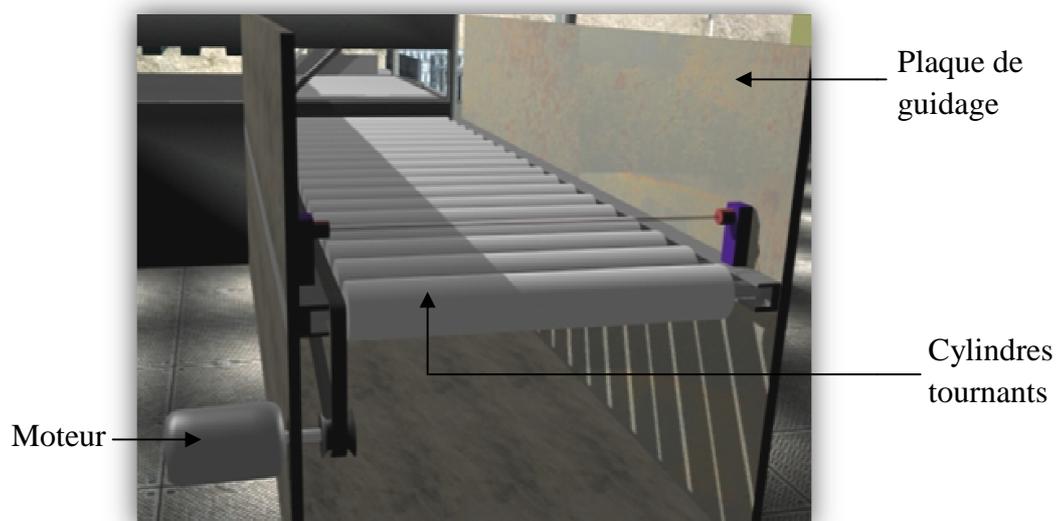


Figure II.5 : tapis roulant.

2.1.2. Les pré-actionneurs

Dans ce nouveau système, nous allons utiliser plusieurs électrovannes, à savoir :

- **Electrovanne 5/2 :** (Figure II.6)

Elle est utilisée pour contrôler :

- l'ouverture ou la fermeture du cadre de serrage ;
- la sortie ou le recul du vérin évacuateur de pièces ;
- la sortie ou le recul du vérin translatif sur le chariot rotatif.

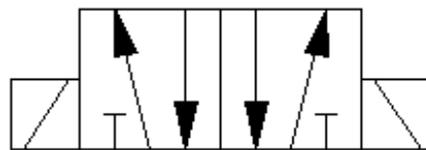


Figure II.6 : électrovanne 5/2.

- **Electrovanne 5/3 :** (Figure II.7)

Elle est utilisée seulement pour le vérin porte ventouses. Le but c'est de maintenir le vérin à n'importe quelle position, lorsque les deux électrovannes sont inactives.

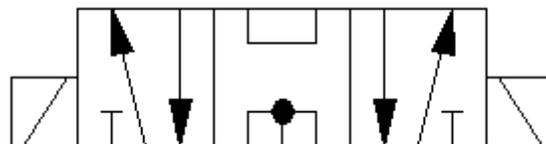


Figure II.7 : électrovanne 5/3.

- **Electrovanne 3/2 :** (Figure II.8)

C'est une électrovanne à retour par ressort. Elle est utilisée pour le système à ventouses et aux verrous du cadre de serrage.

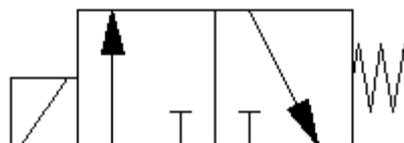


Figure II.8 : électrovanne 3/2.

2.1.3. Les actionneurs

Nous avons utilisé trois types d'actionneurs nécessaires pour le nouveau système : des vérins, des moteurs et des ventouses.

A. Les vérins

- **Le vérin porte ventouses** : C'est un vérin à double effet. Comme son nom l'indique, il porte la plaque sur laquelle sont fixées les ventouses (Figure II.9)

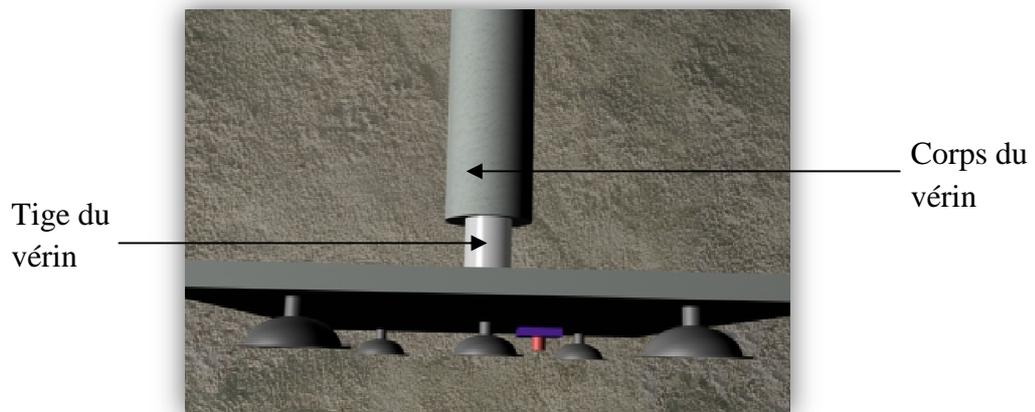


Figure II.9 : vérin porte ventouses.

- **Le vérin évacuateur de pièces** : C'est un vérin double effet soudé sur le coté droit de la machine. Son rôle est de faire sortir la pièce finie vers le tapis roulant (Figure II.10).

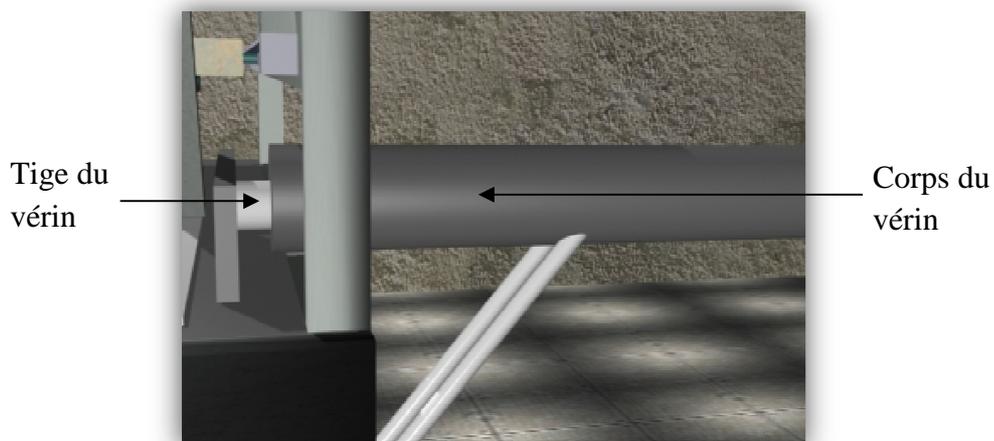


Figure II.10 : vérin évacuateur de pièces.

- **Vérin chariot** : C'est un vérin double effet utilisant un distributeur 5/2. Son rôle est de faire avancer ou de faire reculer la plaque portant l'ensemble du système de ventouses (Figure II.11).

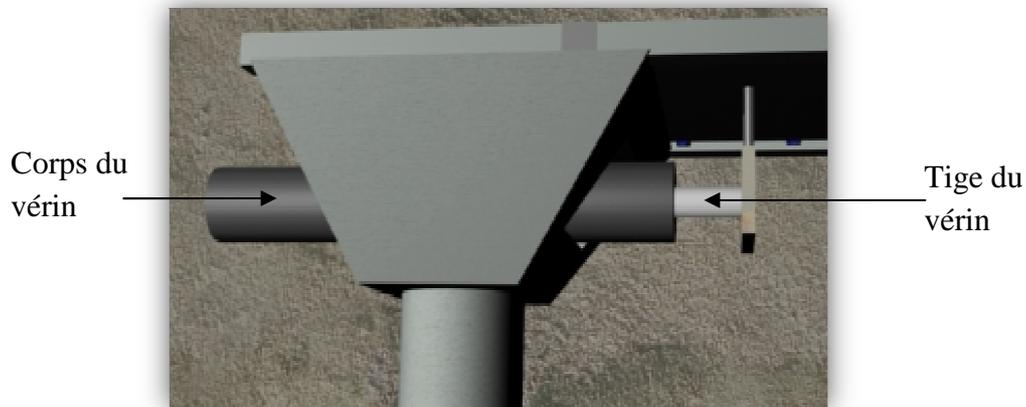


Figure II.11: vérin chariot.

❖ **Réducteur de débit**

En vue de Contrôler la vitesse d'entrée ou de sortie d'un vérin dans certains cas, il nous a été nécessaire d'utiliser un réducteur de débit unidirectionnel (Figure II.12), qui sera placé entre le distributeur et le vérin. Grâce au clapet anti retour, l'air d'admission passe librement, à l'inverse, l'air d'échappement du vérin peut être réduit à volonté, déterminant ainsi la vitesse du vérin dans un sens.

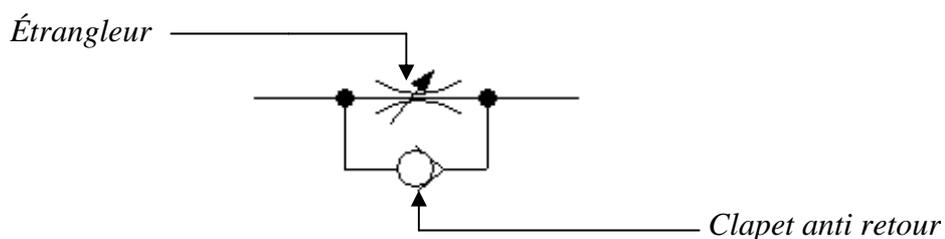


Figure II.12 : symbolisation d'un réducteur de débit.

Il est utilisé pour :

- La sortie et la rentrée lentes du vérin porte ventouses.
- La sortie lente du vérin évacuateur de pièces.

B. Les moteurs

Nous avons utilisé deux types de moteurs dans tout le système, suivant la fonction assurée :

- ***Moteur à un seul sens de rotation*** : C'est un moteur asynchrone. Il est caractérisé par le fait qu'il soit constitué d'un stator (inducteur) alimenté en courant alternatif, et d'un rotor (induit) : soit en court-circuit, soit bobinées à des bagues dans lesquelles le courant est créé par induction. Il est constitué de :
 - **Sectionneur** : Le sectionneur, ou portes fusibles, permet d'isoler un circuit pour effectuer des opérations de maintenance, de dépannage ou de modifications sur les circuits électriques.
 - **Contacteur** : C'est un appareil de commande capable d'établir, ou d'interrompre, le passage de l'énergie électrique (commandé à distance par l'alimentation d'une bobine).
 - **Relais thermique** : C'est un appareil de protection capable de protéger contre les surcharges. Ce type de moteur est utilisé pour :
 - le tapis roulant ;
 - la rotation des socles.
- ***Moteur à deux sens de rotation*** : C'est un moteur asynchrone, qui a les mêmes caractéristiques que celui défini ci-dessus, sauf qu'il possède un deuxième contact qui permet d'inverser le sens de rotation.

Principe d'inversion :

L'inversion du sens de marche (Figure II.13) est obtenue en croisant deux des conducteurs de phase d'alimentation, le troisième restant inchangé. On inverse le sens du champ tournant, et par conséquent, le sens de rotation. Un verrouillage mécanique est nécessaire pour éviter le court circuit entre les deux phases dans le cas où deux contacteurs KM1 et KM2 seraient fermés ensemble. Un verrouillage électrique, par les contacts auxiliaires KM1 et KM2, permet de compléter le verrouillage mécanique, dans le cas où ce dernier serait défaillant.

Remarque : tous les moteurs utilisés sont munis d'un réducteur de vitesse afin de réduire cette dernière à une vitesse de rotation désirée.

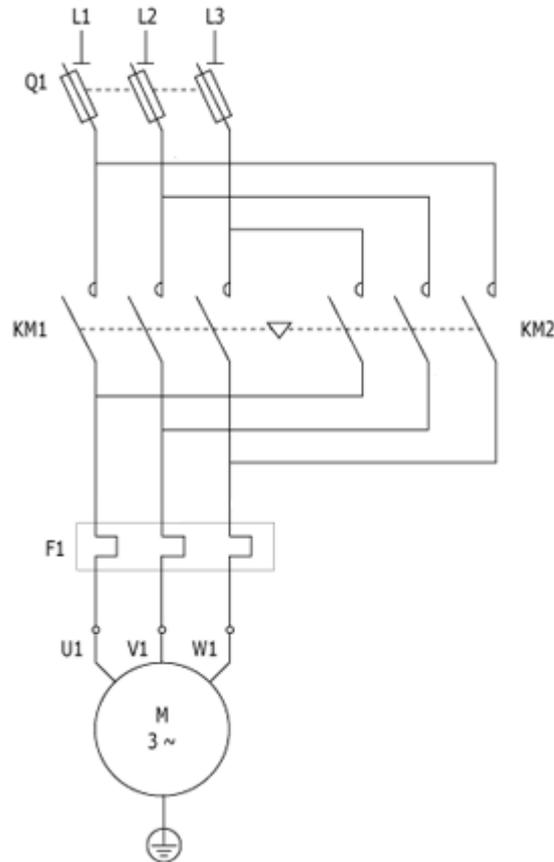


Figure II.13 : inversion du sens de rotation d’un moteur.

Ce type de moteur est utilisé pour faire tourner le chariot dans les deux sens. Le premier sens c’est pour aspirer la feuille puis la déposer sur la machine et le deuxième sens c’est pour revenir à son état initial.

C. Les ventouses

Ce sont des éléments de préhension souples destinés à être utilisés avec un générateur de vide (Figure II.14). Elles permettent de répondre, pratiquement, à tous les cas d’applications de manutention.



Figure II.14 : ventouse.

▪ Générateur de vide ou « Venturi »

Avec le développement de l'automatisation, saisir une pièce devient un problème courant. La préhension par le vide est souvent utilisée. Comme illustré en Figure II.15, un étranglement prévu à l'intérieur de l'éjecteur provoque une accélération du flux d'air P vers l'orifice R qui entraîne l'air ambiant de l'orifice A, et provoque ainsi une dépression.



Figure II.15 : Venturi associé à une ventouse et son symbole.

Le nombre de ventouses nécessaires à une application dépend de la charge à déplacer, et de la position du déplacement de la pièce.

Pour un déplacement horizontal, avec centrage des éléments de préhension, le nombre de ventouses peut être calculé de la manière suivante :

$$\text{Nombre de ventouses} = \frac{\text{charge (masse réelle à soulever en Kg)}}{\text{Force de préhension d'une ventouse (en daN)}}$$

Pour un déplacement vertical avec centrage des éléments de préhension, on utilise la formule précédente mais compte tenu de l'effet de glissement, il convient de déclasser dans un rapport de $\frac{3}{5}$ les forces de préhensions.

Une ventouse développe un effort : $F = P_r * S$

Où :

S : surface de contact avec la pièce saisie ;

P_r : Pression relative ($P_r = P_{atm} - P_i$), et P_i est la pression interne = dépression créée.

Pour notre système le nombre de ventouses est de cinq.

2.1.4. Capteurs**A. Choix d'un capteur**

Parmi les principaux et nombreux facteurs qui interviennent dans le choix d'un détecteur, on cite :

- les conditions d'exploitation, caractérisées par la fréquence de manœuvre, la nature, la masse et la vitesse du mobile à contrôler ;
- l'effort nécessaire pour actionner le contact ;
- la nature de l'ambiance : humide, poussiéreuse, corrosive, ainsi que la température ;
- la place disponible pour loger, fixer et régler l'appareil.

Les capteurs utilisés dans le nouveau système sont : détecteur de position, interrupteur à lame souple, détecteur de proximité photoélectrique et les détecteurs de niveaux.

- ❖ **Détecteurs de proximité photoélectrique** : Le capteur de proximité infrarouge (capteur photoélectrique) se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur. La détection d'un objet se fait par coupure ou variation d'un faisceau lumineux. Le signal est amplifié pour être exploité par la partie commande. Les récepteurs ont comme élément de base des dispositifs sensibles au rayonnement infrarouge.

La détection est réalisée selon deux procédés :

- Blocage du faisceau par la cible.
- Renvoi du faisceau sur le récepteur par la cible.

Leur utilisation offre les avantages suivants :

- Pas de contact physique avec l'objet détecté.
- Détection d'objets de toutes formes et de matériaux de toutes natures.

Pour réaliser la détection d'objets, 3 systèmes de base sont proposés :

- Le système barrage comporte deux boîtiers. Il a une portée de 30m, et ne détecte pas les objets transparents (Figure II.16).

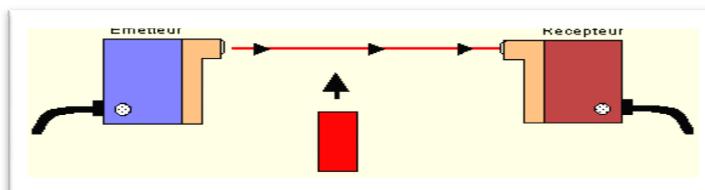


Figure II.16 : système barrage.

- Le système réflexe ne comporte qu'un seul boîtier. Il a une portée de 15m, et ne détecte pas les objets transparents réfléchissants.
- Le système proximité comporte un seul boîtier. Sa portée dépend de la couleur de l'objet (plus il est clair plus il est mieux détecté) et ne détecte pas les objets transparents.

Pour notre système, nous avons utilisé le système barrage :

- Une photocellule pour la détection de pièces à l'entrée du tapis roulant (Figure II.17)

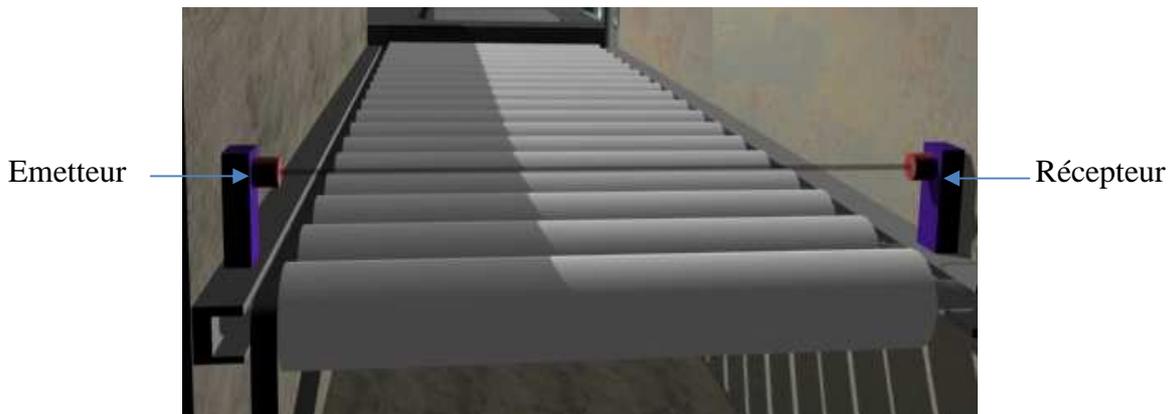


Figure II.17 : système barrage sur le tapis roulant.

- Une photocellule pour la détection de pièces sur la machine (Figure II.18)

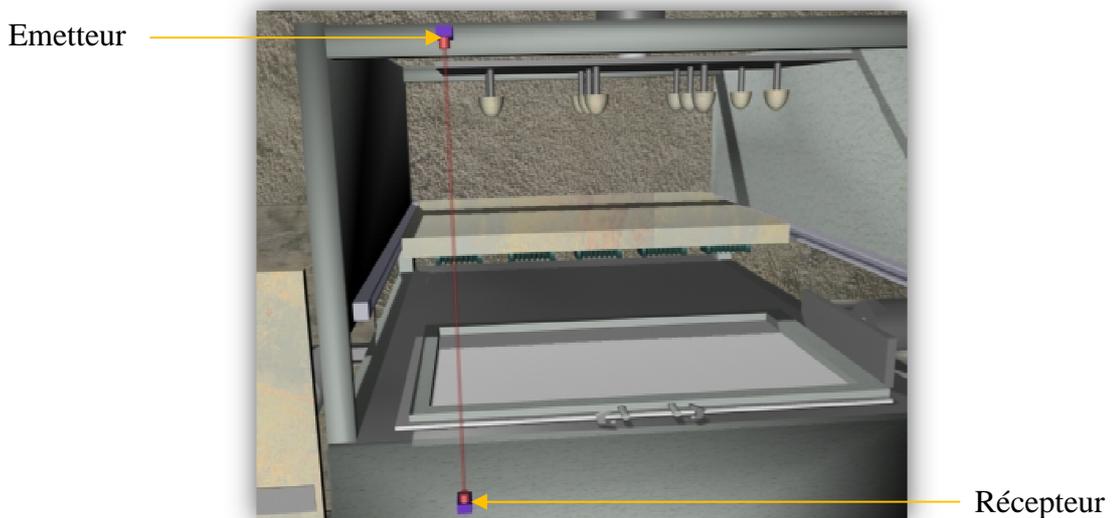


Figure II.18 : système barrage sur la machine.

Ainsi, nous avons utilisé le système de proximité pour :

- l'arrêt du moteur socle à la position souhaitée (Figure II.19).

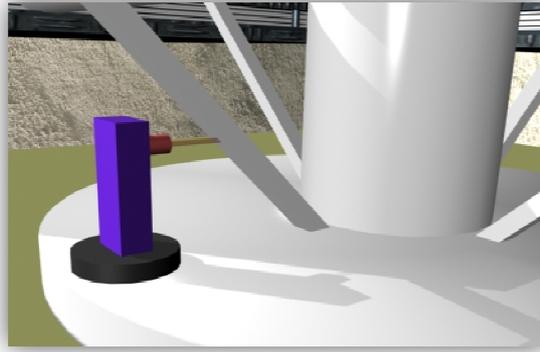


Figure II.19 : système de proximité sur le moteur socle.

- La détection de feuilles sur le socle en utilisant un capteur de portée 5cm (Figure II.20), et un autre de portée 2cm pour enclencher l'aspiration de la feuille (Figure II.21).

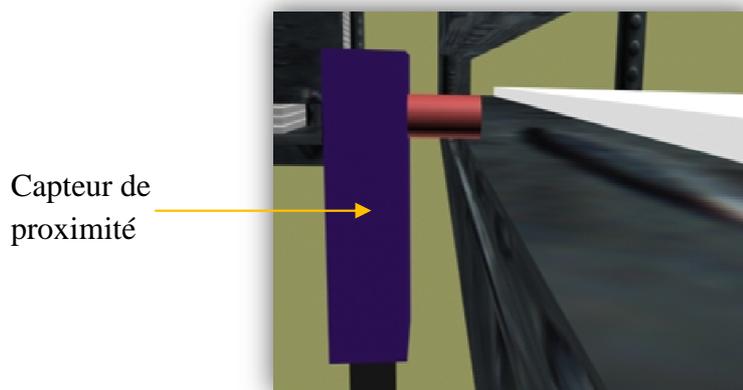


Figure II.20 : détection de la feuille sur le socle.

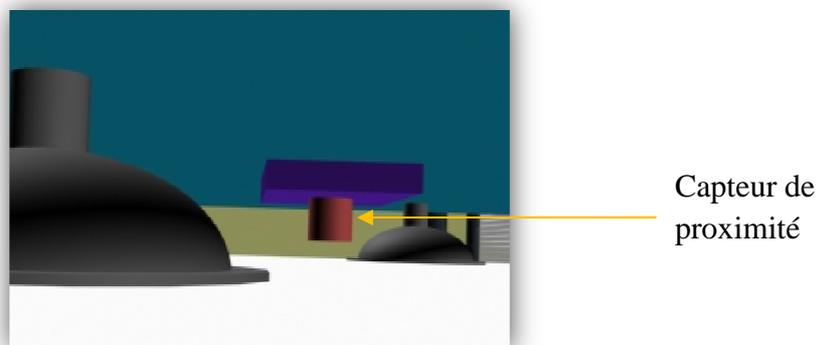


Figure II.21 : détection d'enclenchement de l'aspiration.

- ❖ **Barrière de sécurité** : C'est un capteur photoélectrique utilisant le système barrage. Nous avons utilisé deux barrières afin de couvrir tout le périmètre de travail pour

garantir la sécurité de l'opérateur chargé de la machine ou d'autres personnes (Figure II.22).



Figure II.22 : barrières de sécurité.

Capteur à contact mécanique :

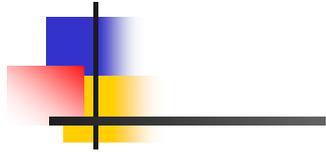
Il est utilisé pour les éléments suivants :

- la détection de position du système chariot.
- le début et la fin de course du vérin chariot.
- le début course du vérin porte-ventouses.
- le début et la fin de course du vérin évacuateur de pièce.

3. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons mené une étude approfondie sur la machine réadaptée de thermoformage, fabrication des contre portes frigorifiques. Pour comprendre plus précisément le fonctionnement automatique du processus, c'est-à-dire l'interaction entre la partie commande et la partie opérative et pour développer une solution de conduite programmable, la modélisation de ce cycle s'avère nécessaire.

En effet après l'élaboration d'un cahier des charges, qui comprend tous les aspects fonctionnels du processus, nous allons passer, au prochain chapitre, à la modélisation du cahier des charges à l'aide du GRAFCET.



Chapitre III :

Modélisation par outil GRAFCET

1. Introduction

Le GRAFCET est un outil graphique de définition pour l'automatisme séquentiel, en tout ou rien. Il utilise une représentation graphique. C'est un langage clair, strict mais sans ambiguïté, permettant par exemple au réalisateur de décrire le cahier des charges. Langage universel, indépendant (dans un premier temps) de la réalisation pratique (peut se "câbler" par séquenceurs, être programmé sur automate voir sur ordinateur).

2. Définition

Le GRAFCET (Figure III.1) représente graphiquement le fonctionnement d'un automatisme par un ensemble :

- d'étapes, auxquelles sont associées des actions ;
- de transitions entre étapes, auxquelles sont associées des réceptivités ;
- des liaisons orientées entre les étapes et les transitions ;
- de macros étapes pour simplifier la représentation, la rendre plus lisible, et insister sur certaines structures sans se perdre dans les détails.

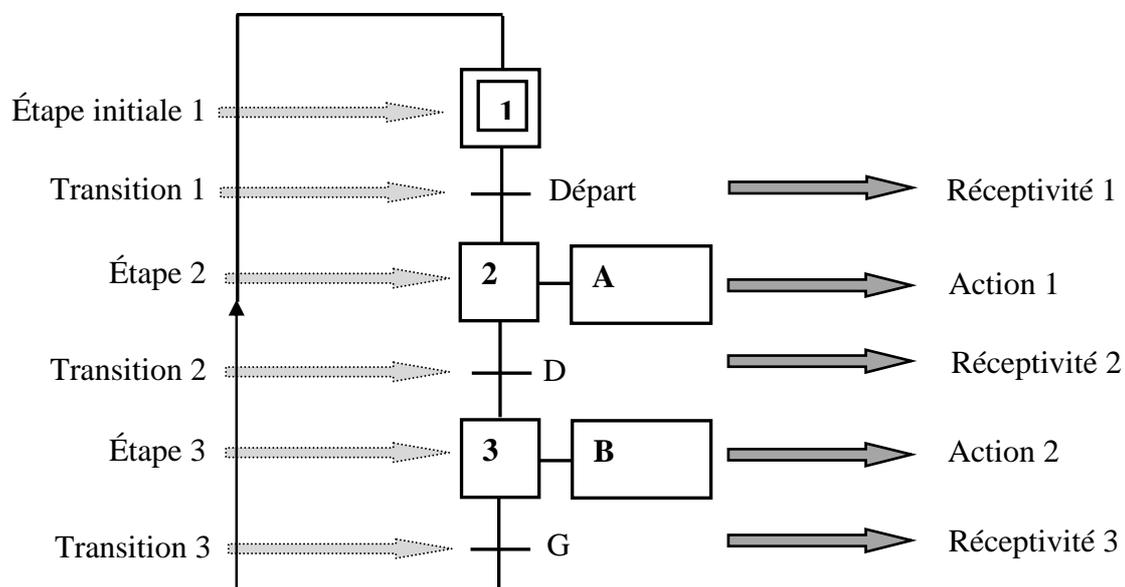


Figure III.1 : les différents constituants d'un GRAFCET.

3. Règles d'évolution

3.1. Règles de syntaxe

- L'alternance étape-transition doit être respectée.
- Deux étapes ne doivent jamais être reliées directement.
- Deux transitions ne doivent jamais être reliées directement.

3.2. Règles d'évolution

- **L'initialisation** : une situation initiale est caractérisée par le fait qu'un certain nombre d'étapes sont actives au début du fonctionnement. Ces étapes sont repérées sur le GRAFCET par un double carré (Figure III.2).

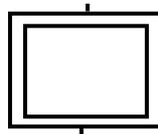


Figure III.2 : étape initiale.

- **Le franchissement d'une transition** : une transition est soit validée soit non validée. Elle est validée lorsque toutes les étapes, immédiatement précédentes, sont actives (Figure III.3). Elle ne peut être franchie lorsque :
 - elle est validée ;
 - la réceptivité associée est vraie.

Étape active	aucune	aucune	5	5	6
Transition validée	non	non	oui	oui	non
Réceptivité vraie	non	oui	non	oui	oui
Transition franchissable	non	non	non	oui	non

Figure III.3 : franchissement d'une transition.

- **L'évolution des étapes actives** : le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes, immédiatement suivantes, et la désactivation de toutes les étapes, immédiatement précédentes.
- **Évolution simultanée** : plusieurs transitions, simultanément franchissables, sont simultanément franchies. Par exemple, sur la figure III.4, si la variable « c » est vraie, le GRAFCET va évoluer vers la désactivation simultanée des étapes 5 et 10 et l'activation simultanée des étapes 6 et 11.

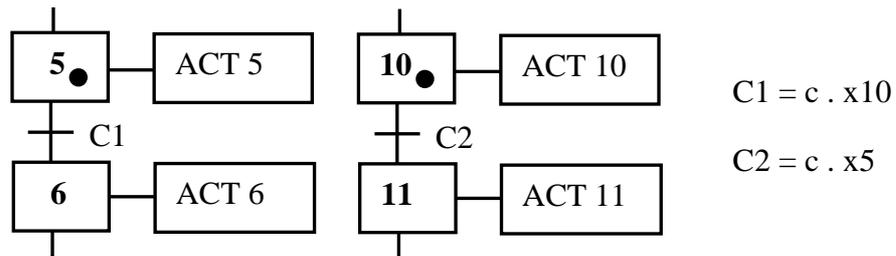


Figure III.4 : évolution simultanée.

- **Activation et désactivation simultanées** : si au cours du fonctionnement, une même étape doit être, simultanément, désactivée et activée, elle reste ACTIVE.

4. Règles de construction d'un GRAFCET

- Si plusieurs étapes doivent être reliées vers une même transition, alors on regroupe les arcs issus de ces étapes à l'aide d'une double barre horizontale appelée convergence en « ET » (synchronisation) (Figure III.5).

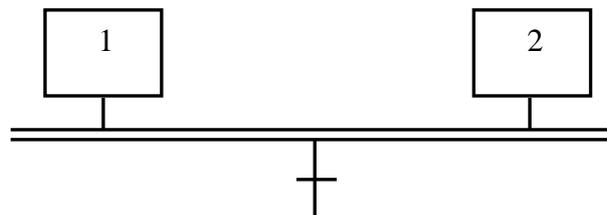


Figure III.5 : convergence en ET.

- Si plusieurs étapes doivent être issues d'une même transition, alors on regroupe les arcs allant vers ces étapes à l'aide d'une barre horizontale, appelée divergence en « ET » (Figure III.6).

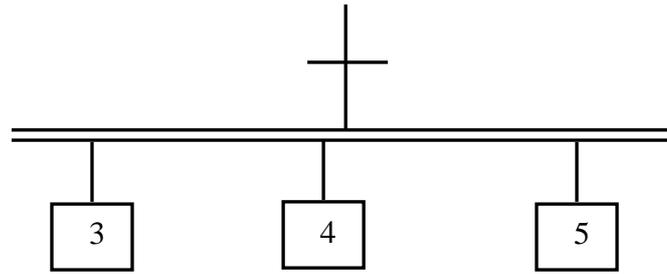


Figure III.6 : divergence en ET.

- Lorsque plusieurs transitions sont reliées à une même étape « dans le sens vers étape » (respectivement dans le sens d'étape), on regroupe les arcs par un simple trait horizontal et l'on parle de convergence en « OU » (Figure III.7) (respectivement divergence en « OU » (Figure III.8)).

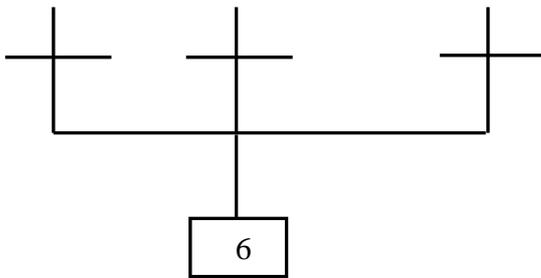


Figure III.7 : convergence en « OU ».

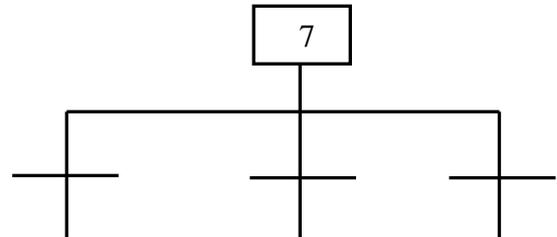


Figure III.8 : divergence en «OU ».

5. Les différents types d'actions associées aux étapes

Une ou plusieurs actions, élémentaires ou complexes, peuvent être associées à une étape. Elles traduisent ce que doit être fait chaque fois que l'étape, à laquelle elles sont associées, est active. Ces conditions peuvent être externes (sorties), ou internes (lancement de temporisation, comptage, etc.).

Les sorties de la partie commande correspondent aux ordres émis vers la partie opérative. Les actions sont décrites de façon littérale ou symbolique à l'intérieur d'un ou de plusieurs rectangles reliés au symbole de l'étape, à laquelle elles sont associées.

5.1. Actions continues (simples)

Lorsqu'une étape est active, l'action associée est exécutée et réciproquement (Figure III.9).

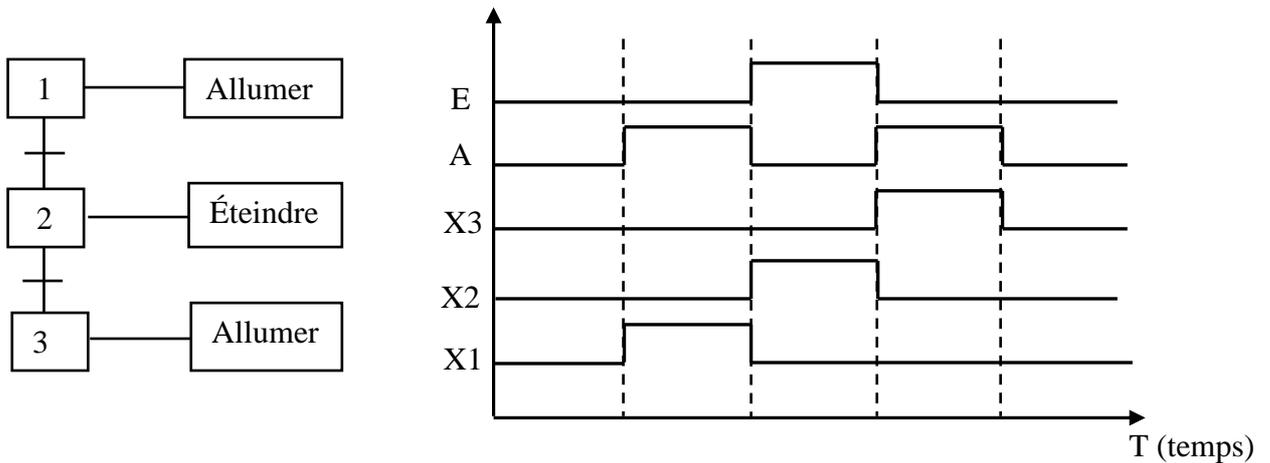


Figure III.9 : représentation graphique d’actions simples et leurs chronogrammes.

Plusieurs actions, associées à une même étape, peuvent être disposées de façons différentes. On peut les représenter comme suit:

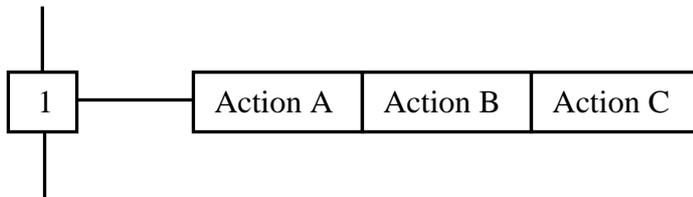


Figure III.10 : représentation de plusieurs actions.

5.2. Actions mémorisées

Dans une action mémorisée, on distingue la mise à 1 et la mise à 0 de l’action (Figure III.11).

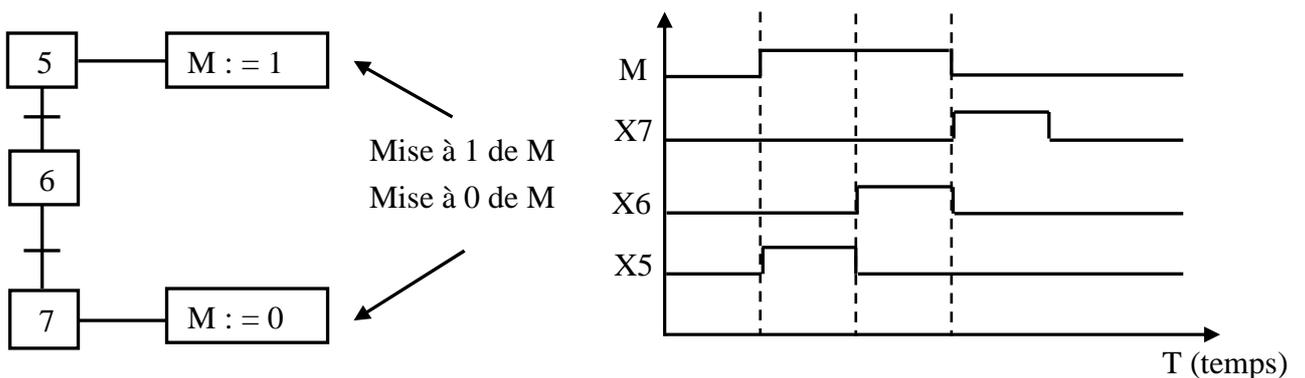


Figure III.11: représentation graphique d’actions mémorisées et leurs chronogrammes.

5.3. Actions conditionnelles

Une action conditionnelle n'est exécutée que si l'étape associée est active et si la condition associée est vraie (Figure III.12). Cette condition est une expression dont le résultat est booléen.

Équation logique : $A = X_7 \cdot C_1$

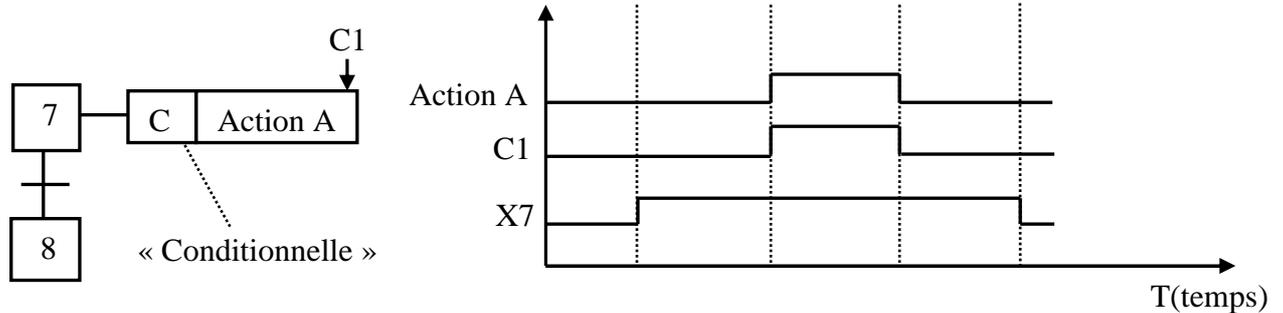


Figure III.12 : représentation graphique d'action conditionnelle et son chronogramme.

5.4. Actions retardées (type D : Delay)

L'action est exécutée si la temporisation est terminée. Mais si la durée réelle d'activation de l'étape est inférieure au retard spécifié, l'ordre retardé peut ne pas être émis.

Équation logique : $B = t/X_1/7s \cdot X_1$

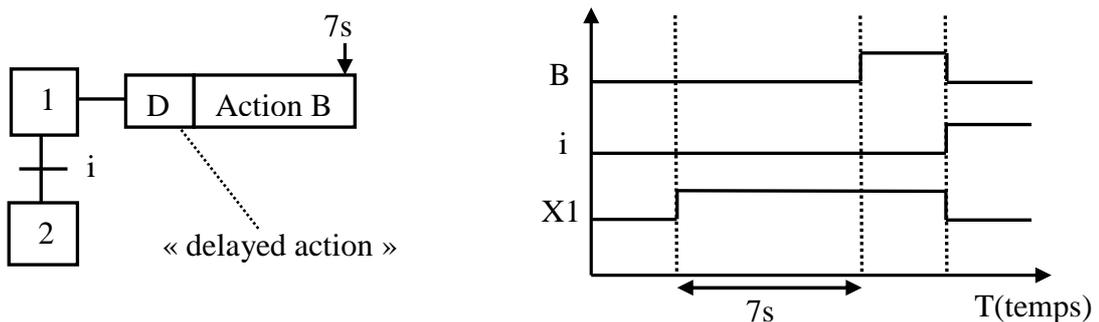


Figure III.13: représentation graphique d'action retardée et son chronogramme.

5.5. Action à durée limitée (type L : limited)

L'exécution de l'action est interrompue après l'écoulement de la durée spécifiée, même si la réceptivité qui suit l'étape n'est pas vraie.

Équation logique : $C = \overline{(t/X_n/3s)} . X_1$

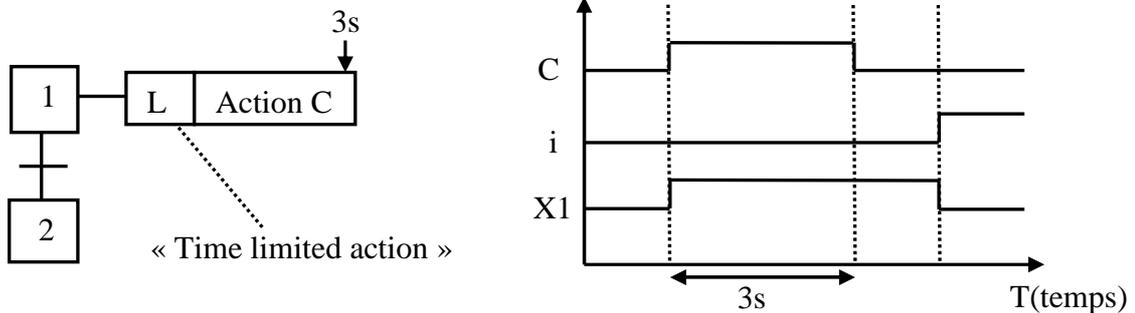


Figure III.14: représentation graphique d’action à durée limitée et son chronogramme.

6. Niveaux du GRAFCET

- **Niveau 1** : appelé aussi le niveau de la partie commande. Il décrit l’aspect fonctionnel du système et des actions à faire par la partie commande en réaction aux informations provenant de la partie opérative, indépendamment de la technologie utilisée. Les réceptivités sont décrites en mots et non en abréviations. On associe le verbe à l’infinitif pour les actions.
- **Niveau 2** : appelé aussi le niveau de la partie opérative. Il tient compte de plus de détails sur la technologie des actionneurs, des pré-actionneurs et des capteurs. La présentation des actions et des réceptivités est décrite en abréviation. On associe une lettre majuscule à l’action et une lettre minuscule à la réceptivité.

Exemple

Pour illustrer ces deux niveaux, nous avons pris l’exemple de deux vérins double effet qui réalisent la séquence de la Figure III.15.

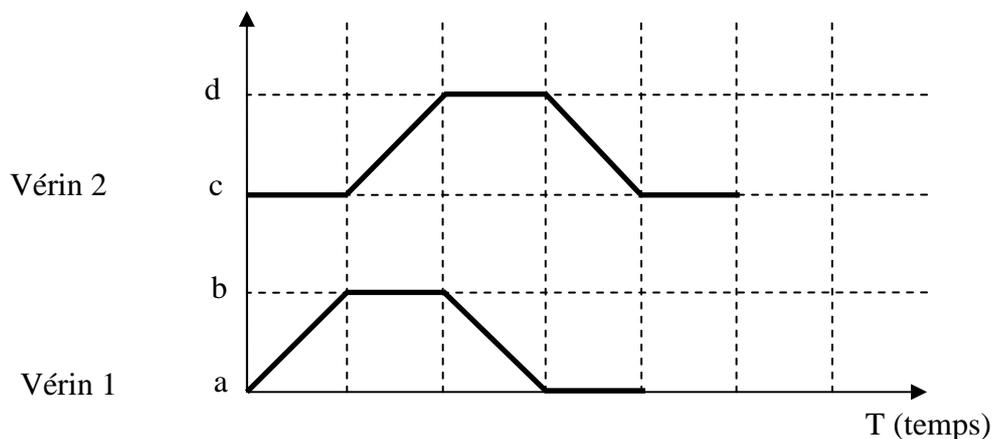
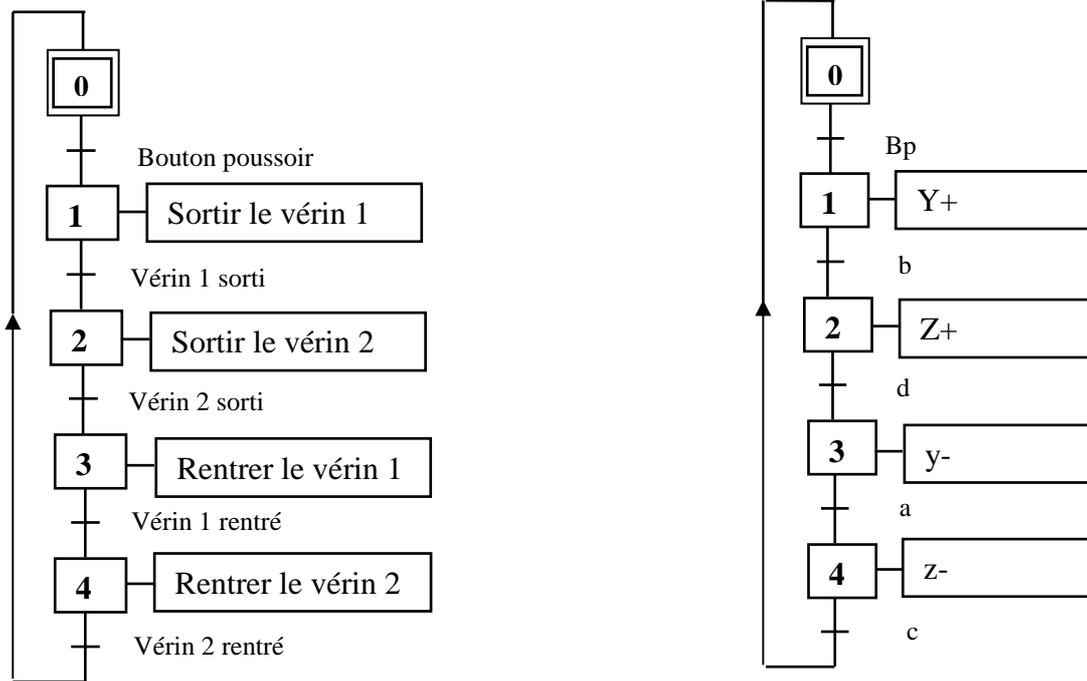


Figure III.15 : séquence chronologique du fonctionnement de deux vérins.

Avec (a) et (c) représentent les capteurs de début de course, respectivement, des vérins 1 et vérin 2. (b) et (d) représentent, respectivement, les capteurs de fin de course des vérin1 et vérin 2.

On note par (Y+) et (Z+), respectivement, les actions de sortie des vérins 1 et 2, par (Y-) et (Z-) les actions d'entrée des vérins 1 et 2.

Le système est muni d'un bouton poussoir « Bp » qui enclenche la séquence. Les GRAFCET niveau 1 et niveau 2 sont donnés ci-dessous :



1) GRAFCET niveau 1

2) GRAFCET niveau 2

Figure III.16 : les différents niveaux d'un GRAFCET.

7. La mise en équations d'un GRAFCET

Pour passer de l'étape de modélisation du procédé par GRAFCET à l'étape de programmation, par l'un des langages acceptés par l'automate utilisé, on doit établir les équations logiques des étapes et des actions associées au GRAFCET.

Soit la variable (Init) telle que :

- **Init = 1** : initialisation du GRAFCET, c'est le mode arrêt.
- **Init = 0** : déroulement du cycle, c'est le mode marche.

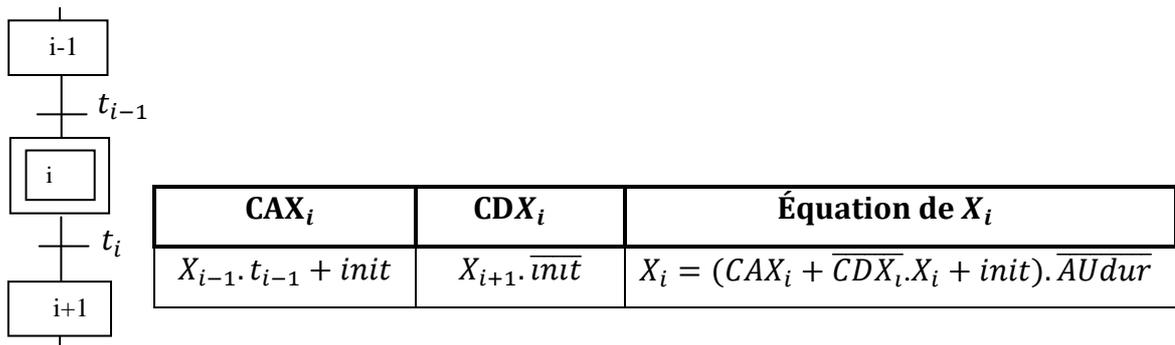
Soient aussi les variables arrêt d'urgence dur (AUdur) et arrêt d'urgence doux (AUdoux) telle que :

- **AUdur = 1** : désactivation de toutes les étapes.
- **AUdoux = 1** : désactivation des actions, les étapes restent actives.

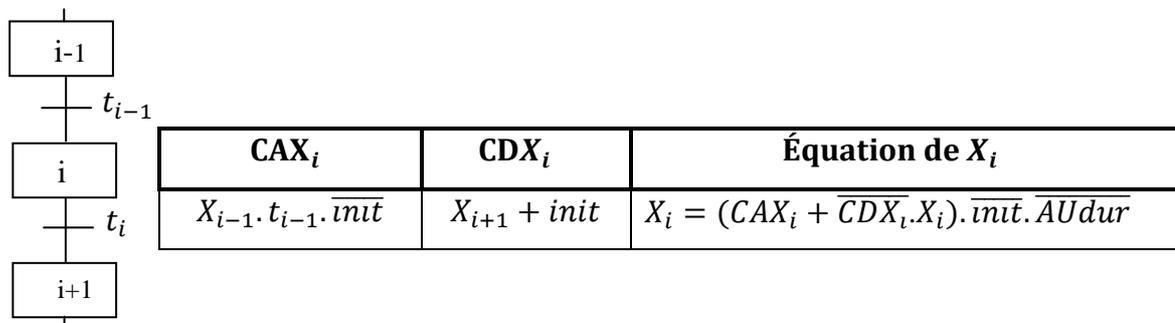
Les conditions d'activations et de désactivations des étapes et actions sont représentées comme suit :

- **CAX_i** : conditions d'activation pour une étape.
- **CDXi** : conditions désactivation d'une étape.

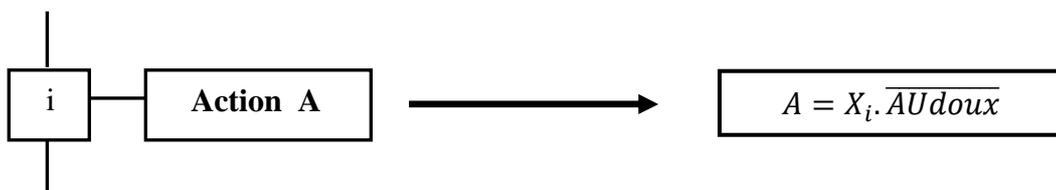
a) Étape initiale



b) Étape non initiale



c) Action



8. Modélisation de notre nouveau système

Après l'étude du système à automatiser, et avoir identifié les différentes actions ainsi que les différentes réceptivités, le cahier de charges décrit au premier chapitre est modélisé sous forme de grafcet niveaux 1 et 2.

Le nouveau cahier des charges nous impose la liste des entrées / sorties (Tableau III.1, Tableau III.2 et Tableau III.3).

Les entrées			
Bouton poussoir	BP	Table en bas	M12
Initialisation	INIT	Table en haut	M13
Arrêt d'urgence	Adur	Piston supérieur rentré	M14
Vérin chariot rentré	M1	Piston supérieur sorti	M15
Vérin chariot sorti	M2	Verrous ouverts	M16
Détection de pièce sur le socle	M 3	Verrous fermés	M17
Démarré l'aspiration	M4	Cadre de serrage ouvert	M18
Vérin ventouse rentré	M5	Cadre de serrage fermé	M19
Vérin évacuateur de pièce rentré	M6	Détection de position du socle	M20
Vérin évacuateur de pièce sorti	M7	Détection de pièce sur la machine	M21
Vérin plateau supérieur rentré	M8	Détection de pièce sur le tapis	M22
Vérin plateau supérieur sorti	M9	Chariot à l'état initial	M23
Vérin plateau inférieur rentré	M10	Chariot à la position de 90°	M24
Vérin plateau inférieur sorti	M11		
Barrière de sécurité 1	Bar_s1		
Barrière de sécurité 2	Bat_s2		

Tableau III.1 : liste des entrées.

Les sorties			
<i>Electrovannes</i>			
Sortir vérin chariot	A1	Sortir le vérin de la table	A12
Reculer vérin chariot	A2	Reculer le vérin de la table	A13
Activer la vanne de ventouses	A3	Enclencher la vanne de bullage	A14
Sortir vérin ventouses	A4	Sortir le vérin du piston supérieur	A15
Reculer le vérin ventouses	A5	Reculer le vérin du piston supérieur	A16
Sortir le vérin évacuateur pièce	A6	fermer les verrous	A17
Reculer le vérin évacuateur de pièce	A7	Ouvrir les verrous	A18
Sortir le vérin du plateau supérieur	A8	Fermer le cadre de serrage	A19
Reculer le vérin du plateau supérieur	A9	Ouvrir le cadre de serrage	A20
Sortir le vérin du plateau inférieur	A10	Enclencher la vanne de soufflage	A21
Reculer le vérin du plateau inférieur	A11		

Tableau III.2 : liste des sorties (électrovannes).

Les sorties	
<i>Moteurs</i>	
Moteur chariot	KM11 / KM1 (sens 1) KM22 / KM2 (sens 2)
Moteur de la pompe à vide	KM33 KM3
Moteur des ventilateurs	KM44 KM4
Moteur du tapis roulant	KM55 KM5
Moteur du système socle	KM66 KM6

Tableau III.3 : liste des sorties (moteurs).

Remarque 1 : les conditions initiales (CI) données dans le grafcet niveau 1 et niveau 2 sont définies comme suit :

$$CI = M2.M5.M6.M8.M10.M12.M14.M16.M18.M20.M23.\overline{KM5}$$

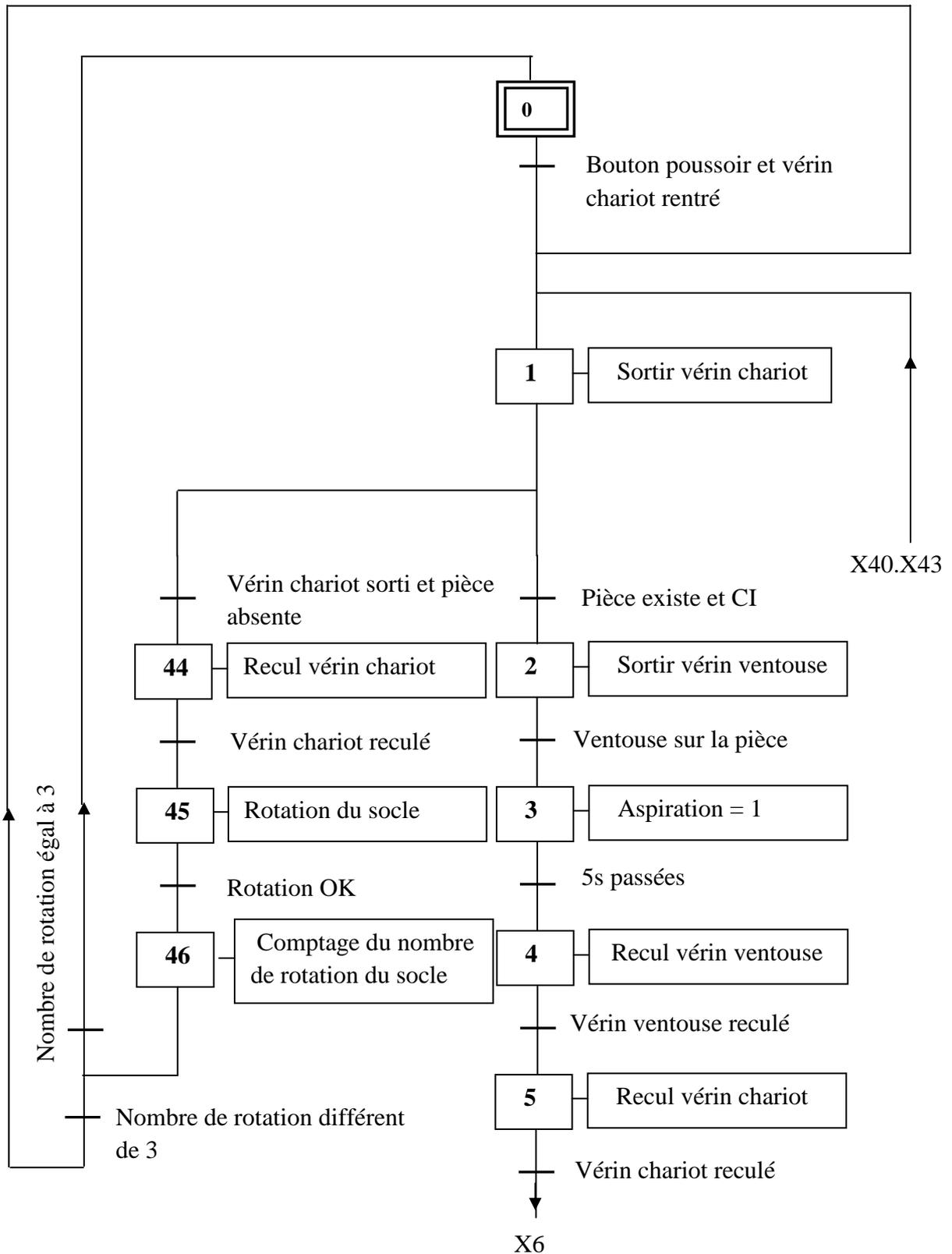
- Vérin chariot sorti.
- Vérin ventouse rentré.
- Vérin évacuateur de pièce rentré.
- Vérin plateau supérieur rentré.
- Vérin plateau inférieur rentré.
- Vérin table rentré.
- Piston supérieur rentré.
- Les verrous ouverts.
- Vérin du cadre de serrage rentré.
- Moteur du tapis roulant à l'arrêt.
- Détection du socle.
- Moteur chariot à l'état initial.

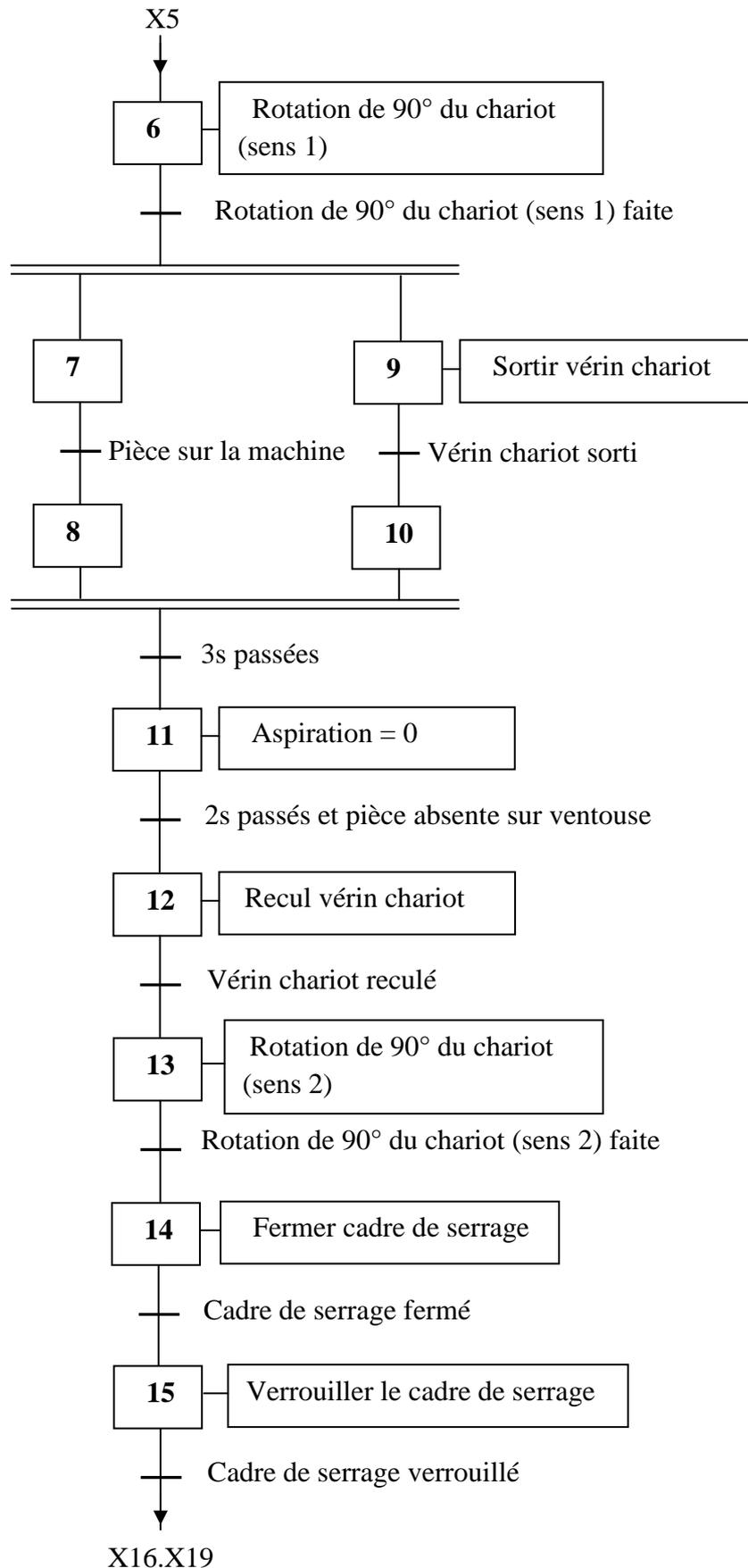
Remarque 2 : Nous avons conçu deux types d'arrêt d'urgence :

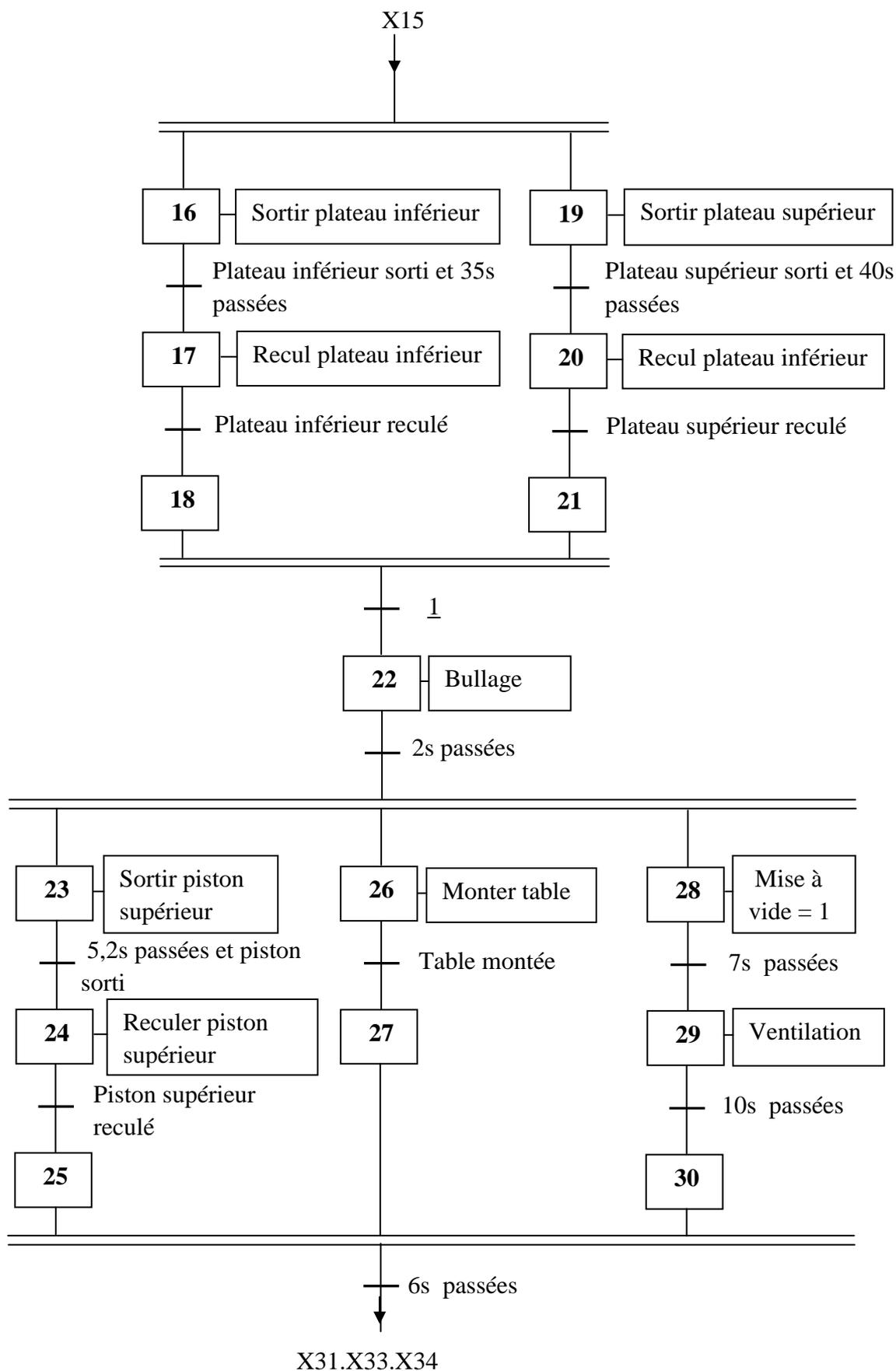
- Manuel (bouton d'arrêt d'urgence).
- Automatique (les deux barrières de sécurité).

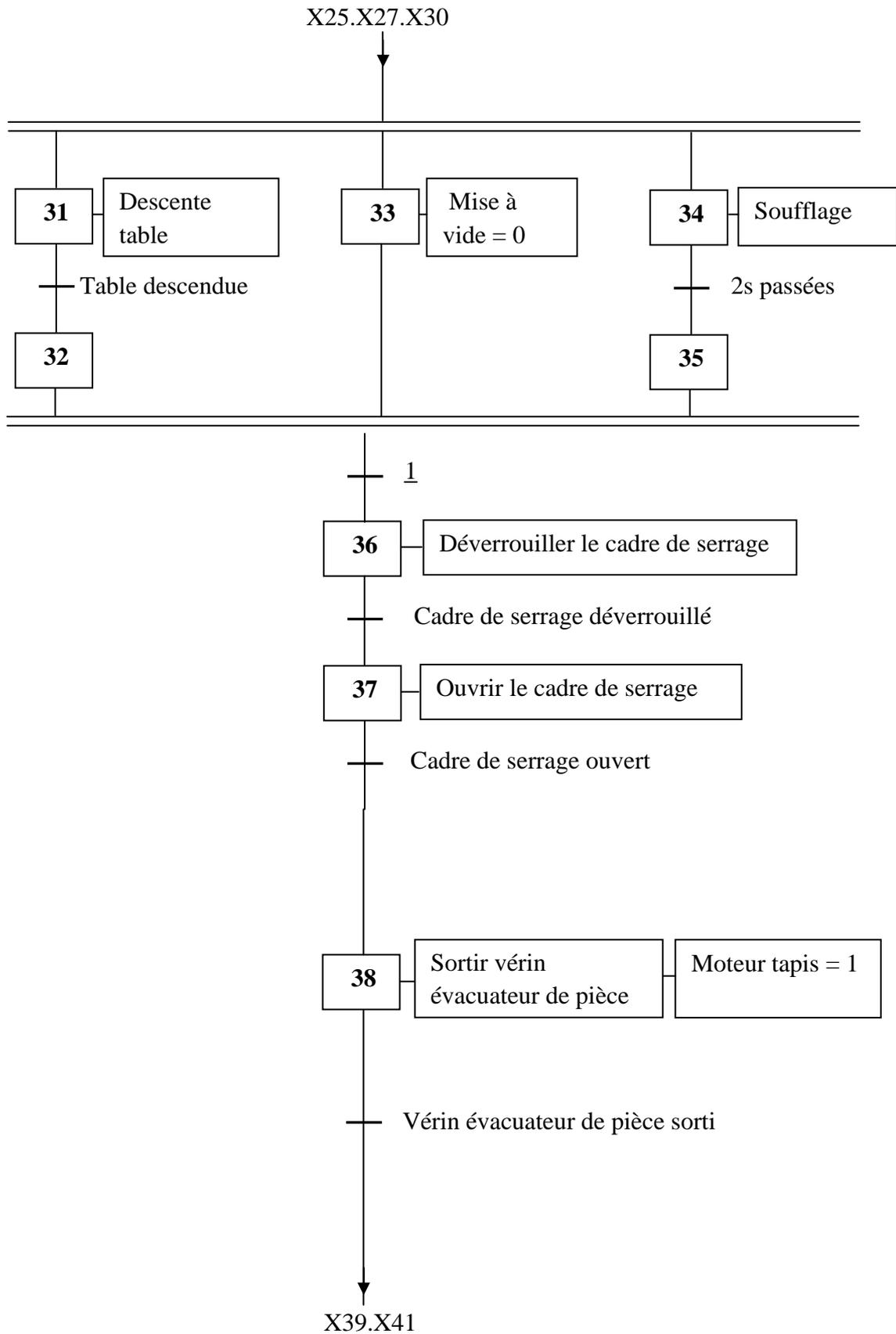
8.1. Grafcet niveau 1

Dans un premier lieu nous avons modélisé notre processus à l'aide du grafcet niveau 1 (Figure III.17).









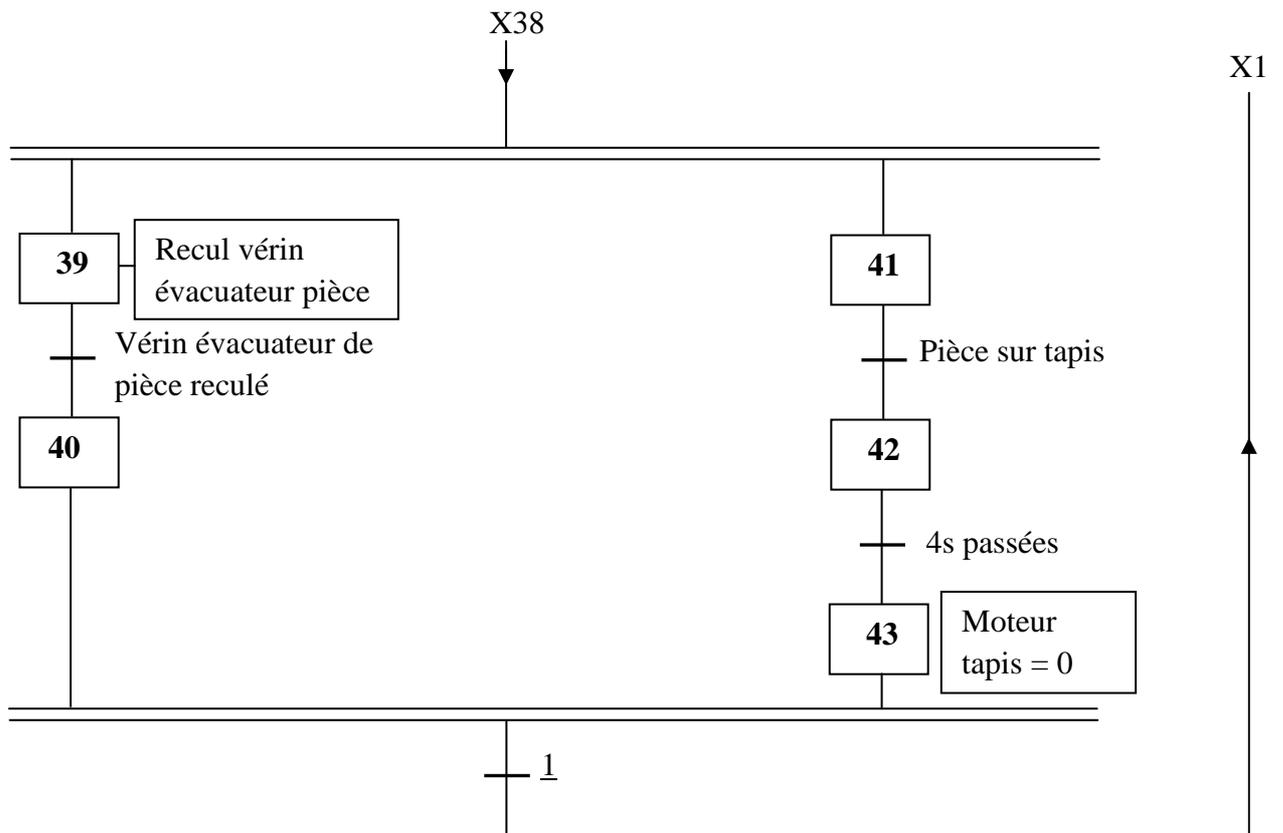
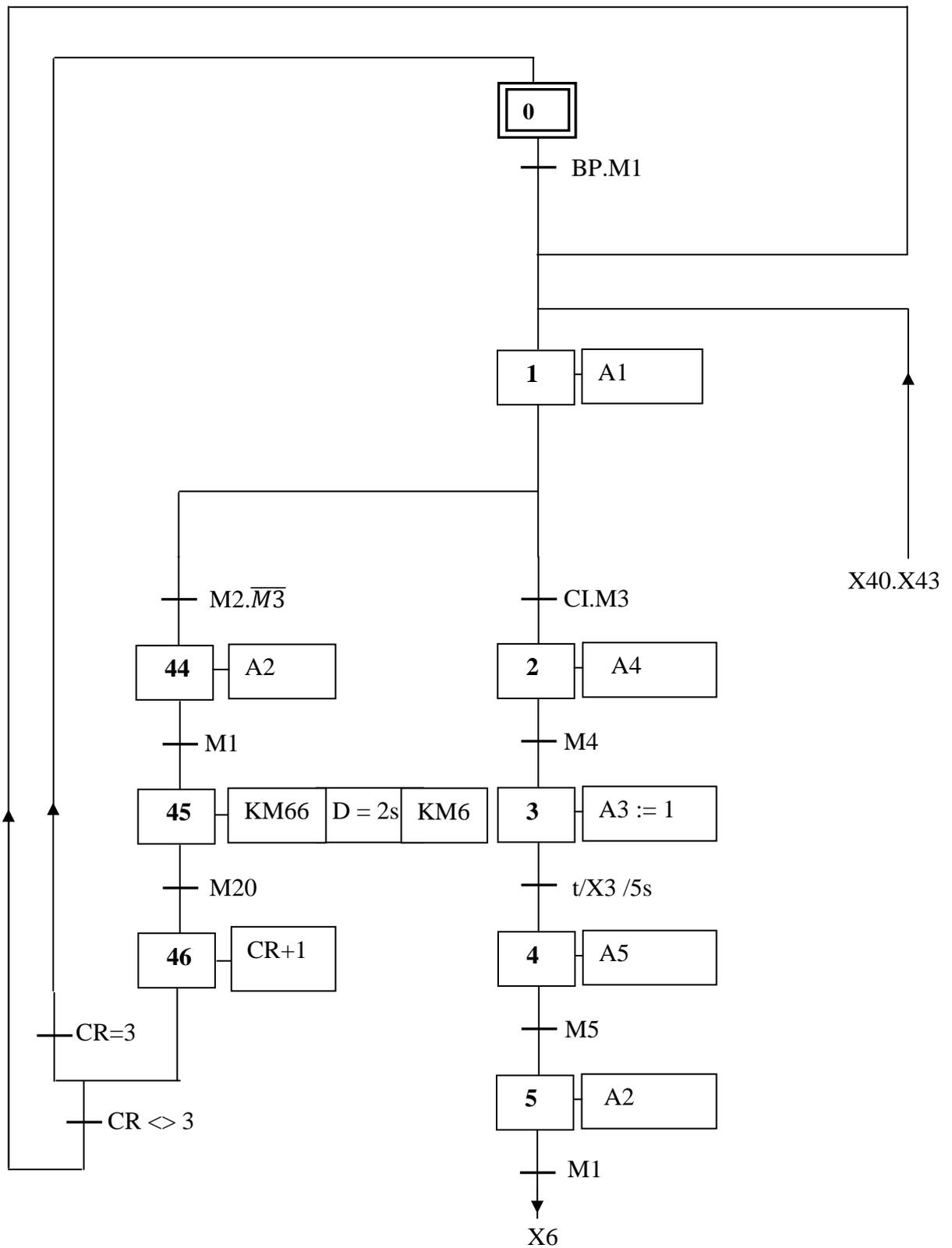
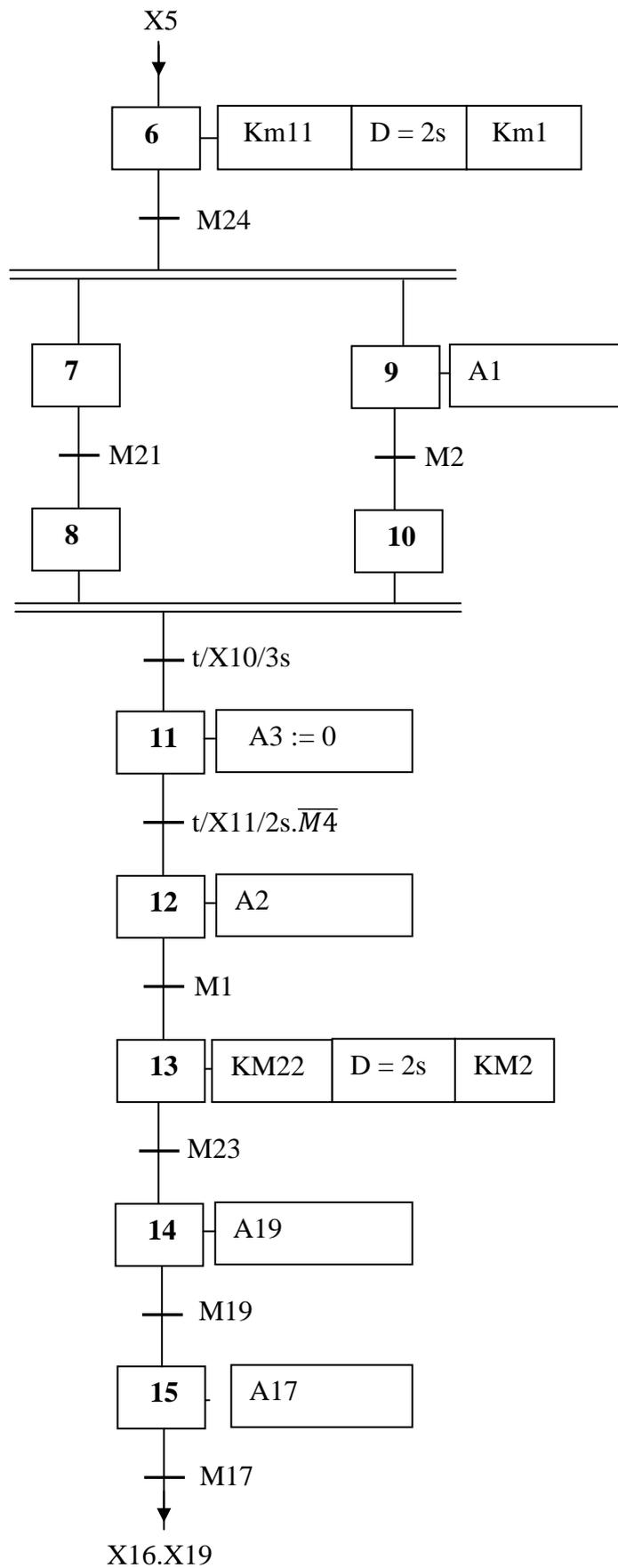


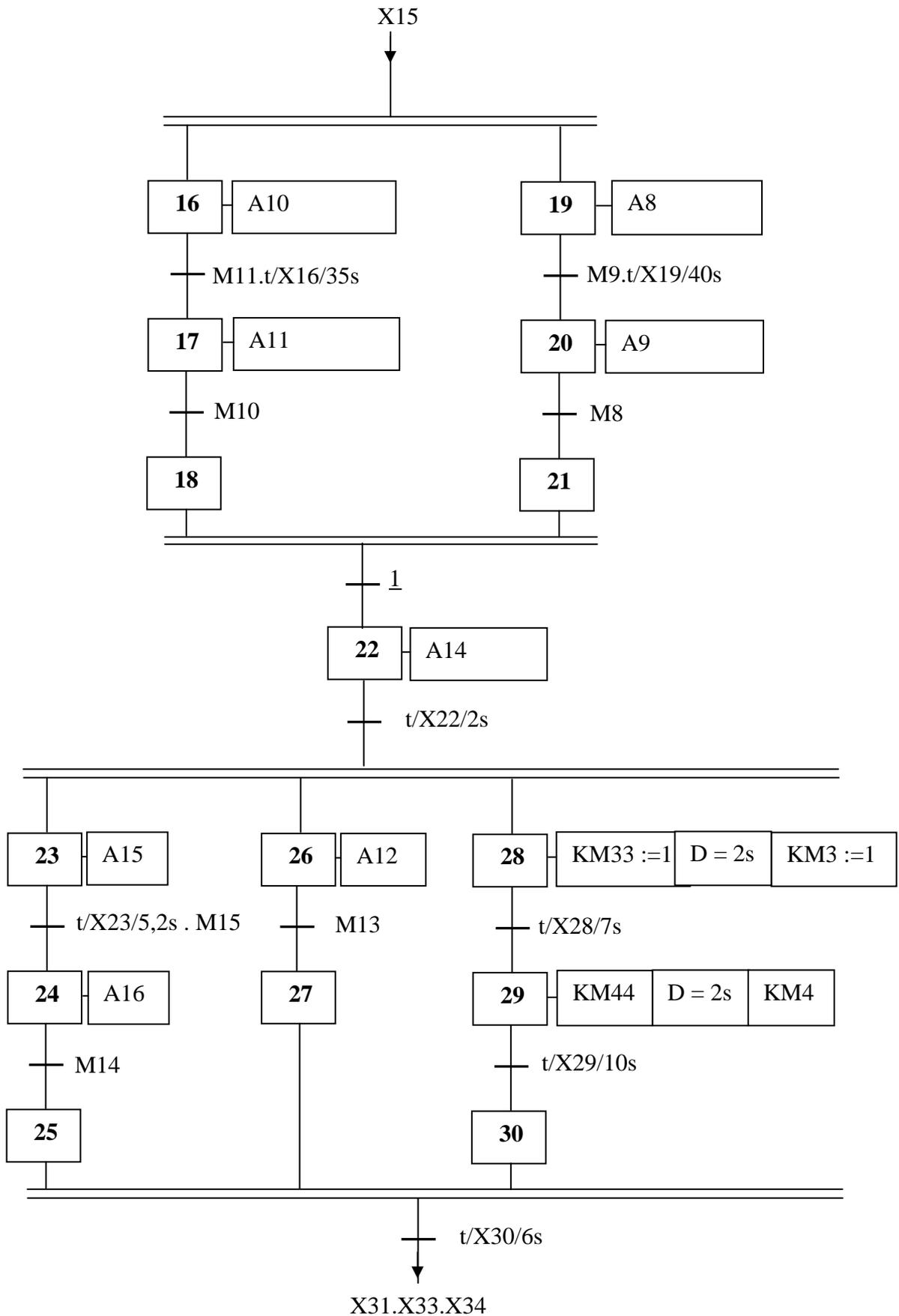
Figure III.17 : grafcet niveau 1.

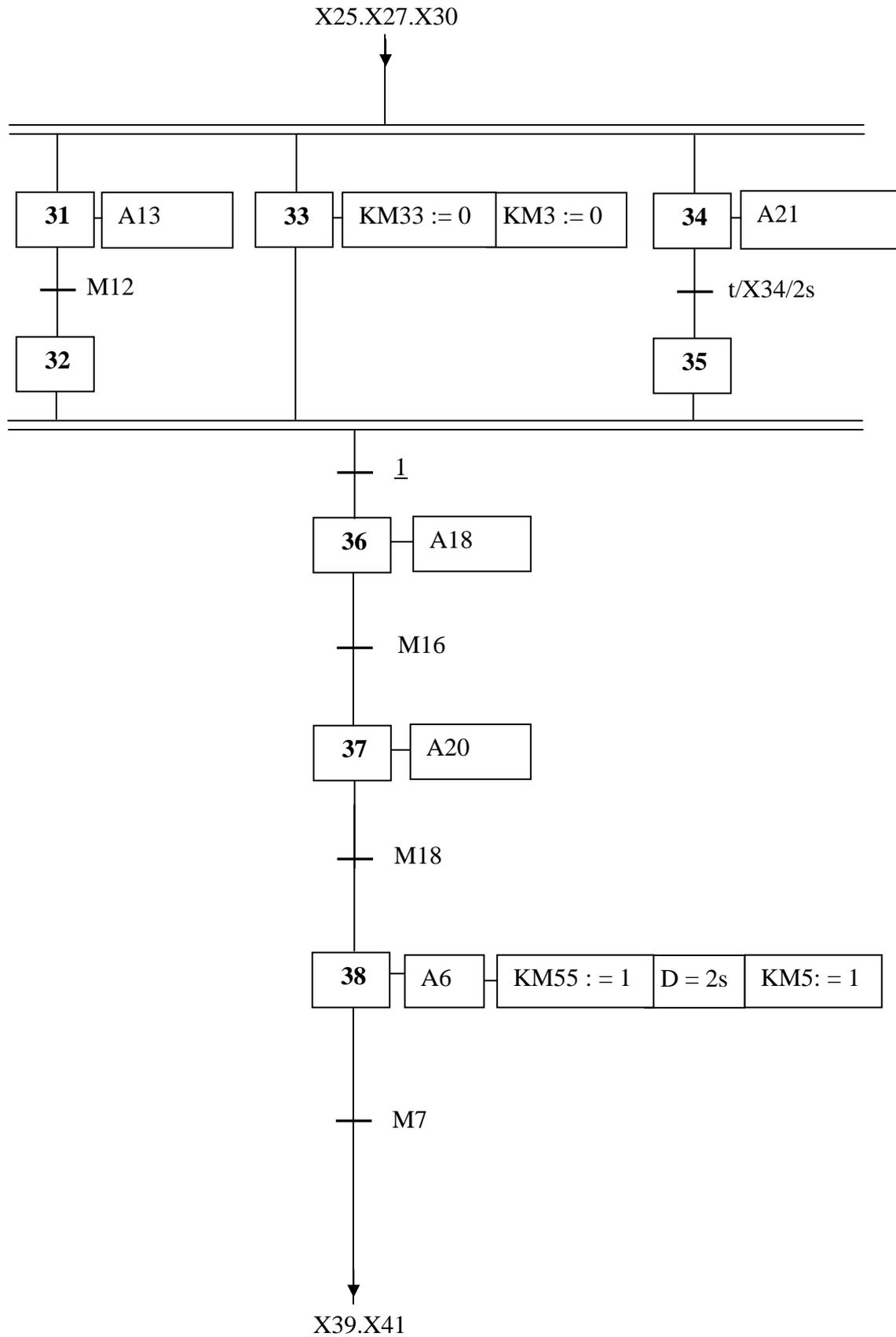
8.2. Grafcet niveau 2

Après avoir modélisé notre nouveau système avec le GRAFCET niveau 1, nous passons au grafcet niveau 2 (Figure III.18).









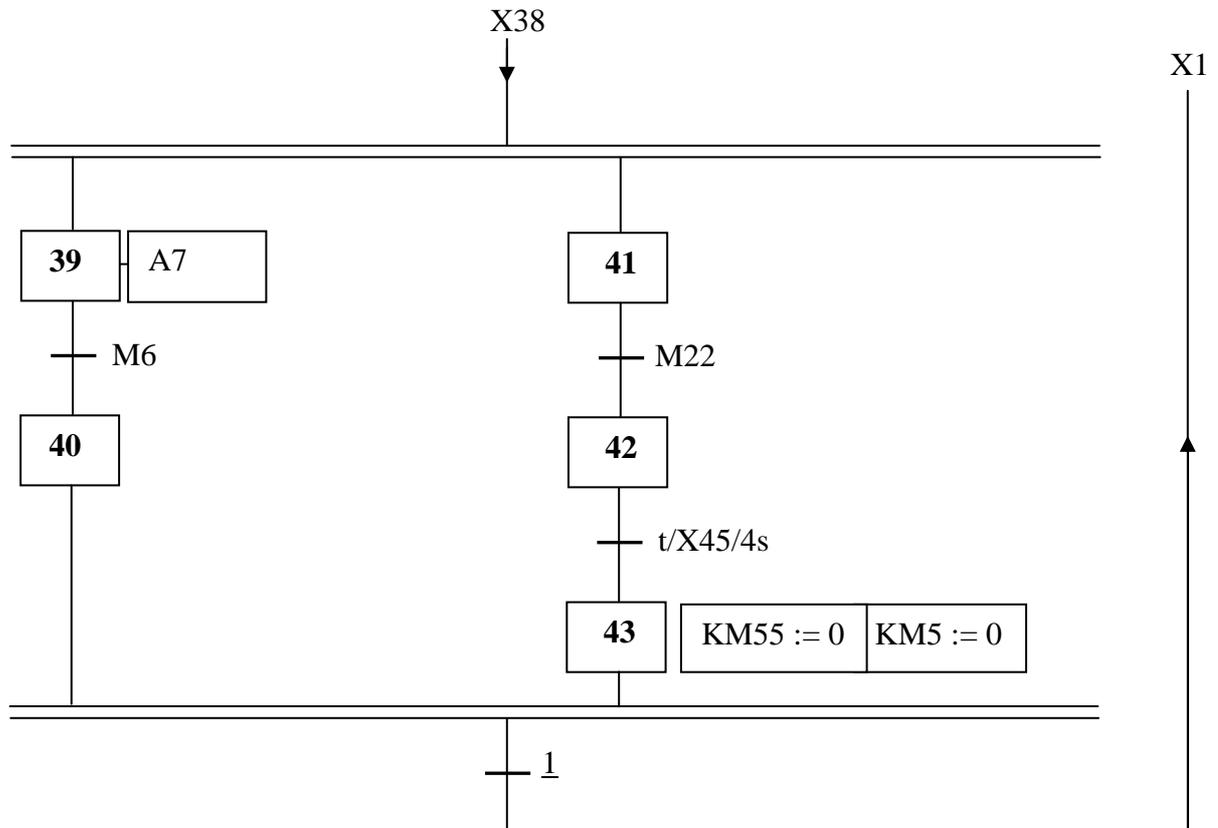
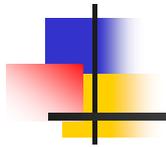


Figure III.18 : grafcet niveau 2.

9. Conclusion

En tenant compte de la complexité et la difficulté du processus, ainsi que des contraintes imposées par l'entreprise, nous avons modélisé le procédé de commande à l'aide du GRAFCET. Nous avons élaboré en premier lieu un grafcet de niveau 1 pour expliquer le système, puis le grafcet niveaux 2 qui met en œuvre et décrit la partie opérative.

Nous concluons que le GRAFCET est un outil de modélisation qui permet facilement le passage d'un cahier de charges fonctionnel à un langage d'implantation optionnel. Il permet la description du comportement attendu de la partie commande et la partie opérative. Ainsi, il facilite le passage de la description à la modélisation et nous permettra au chapitre suivant d'aborder la programmation de la partie opérative, qui pilotera le procédé à l'aide du STEP 7.



Chapitre IV :

**Automatisation de la machine de thermoformage
avec l'API S7-300**

1. Introduction

Les Automates programmables industriels (API), sont apparus vers 1969 aux Etats Unis pour répondre aux besoins de l'industrie automobile. Ils ont été conçus pour l'automatisation des chaînes de fabrication, et réaliser des fonctions logiques combinatoires, et séquentielles, en remplacement des armoires à relais trop volumineuses.

Depuis, leur utilisation s'est largement répandue dans l'industrie, où ils représentent l'outil de base de l'automatisation des systèmes de production. Les API ont trouvé leur place dans les domaines les plus variés comme dans les chaînes de fabrication (usinage, montage, etc.), les opérations de stockage, chargement, etc., ou encore dans les systèmes de contrôle (installation de climatisation, frigorifique, de chauffage, détection des incendies, industrie nucléaire, etc.)

Avec le temps, on trouve sur le marché différentes variétés ; ceci est dû à la diversité des constructeurs. Ainsi, pour notre travail, nous avons opté pour l'automate SIMATIC S7-300.

2. Automate programmable

L'API (En anglais, Programmable Logic Controller : PLC) (Figure IV.1) est un dispositif électrique de traitement logique d'informations, dont le programme de fonctionnement est effectué à partir d'instructions établies, en fonction du processus à réaliser.

Il est adapté à l'environnement industriel. Il génère des ordres de la partie opérative vers les pré-actionneurs, à partir des données d'entrées (capteurs) et d'un programme. Il est généralement relié à un pupitre (ou console).

A partir de cette définition, on distingue dans les rôles que l'automate doit accomplir :

- ✚ Un rôle de **commande** : Où il est un composant d'automatisme, élaborant des actions, suivant un algorithme approprié, à partir des informations que lui fournissent des détecteurs (Tout ou Rien) ou des capteurs (analogiques ou numériques).
- ✚ Un rôle de **communication** : Dans le cadre de la production.
 - Avec des opérateurs humains : c'est le dialogue d'exploitation.
 - Avec d'autres processeurs, hiérarchiquement supérieurs (calculateur de gestion de

production), égaux (autres automates intervenant dans la même chaîne) ou inférieurs (instrumentation intelligente).

L'API peut se présenter en deux types d'architecture externe : compact et modulaire.

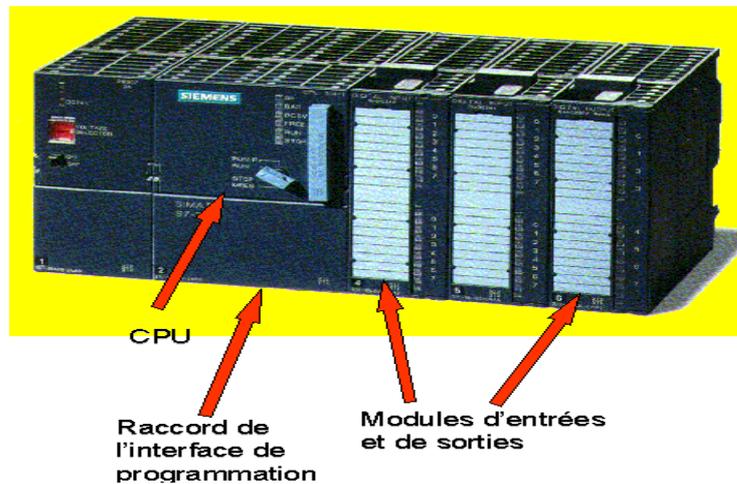


Figure IV.1 : photographie d'un automate programmable.

2.1. Architecture et fonctionnement d'un automate

La structure interne d'un API peut se présenter comme en figure IV.2.

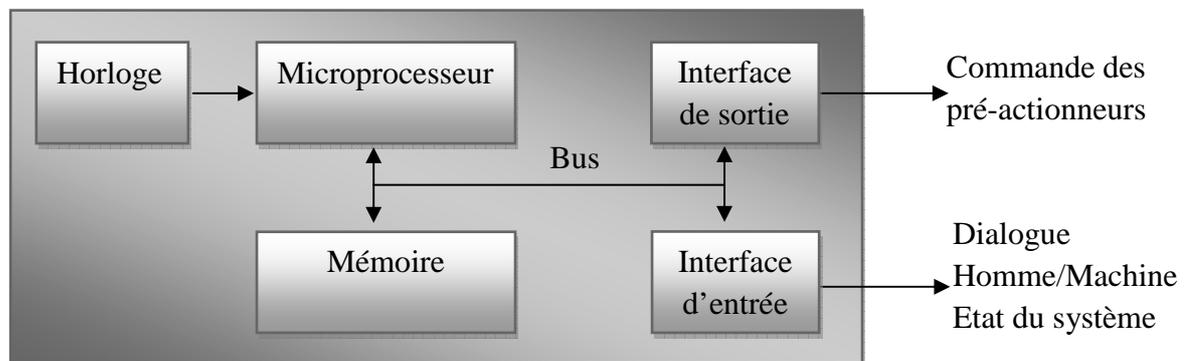


Figure VI.2 : architecture interne d'un API.

L'automate programmable reçoit les informations, relatives à l'état du système, et puis commande les pré-actionneurs suivant le programme inscrit dans sa mémoire. Un API se compose donc de trois grandes parties :

- le processeur ;
- la zone mémoire ;

- les interfaces entrées /sorties.

A. Le microprocesseur

Le microprocesseur réalise toutes les fonctions logiques (ET, OU, etc), les fonctions de temporisation, de comptage, de calcul, etc, à partir d'un programme contenu dans sa mémoire. Il est connecté aux autres éléments (mémoire et interface E/S) par BUS.

B. La zone mémoire

Elle permet de :

- recevoir des informations issues des capteurs d'entrées ;
- recevoir les informations générées par le processeur et destinées à la commande des sorties (valeur des compteurs, des temporisations, etc) ;
- recevoir et conserver le programme du processus.

C. Les interfaces d'entrées/sorties (E/S)

Les entrées reçoivent des informations en provenance des éléments de détection (capteurs) et du pupitre opérateur.

Les sorties transmettent des informations aux pré-actionneurs (relais, électrovannes, etc.) et aux éléments de signalisations (voyants) du pupitre.

2.2. Choix d'un automate

Le choix d'un automate se fait après avoir établi le cahier des charges du système à automatiser. Cela en considérant un certain nombre de critères :

- Le nombre d'entrées et de sorties.
- La nature des entrées et des sorties (numérique, analogique, logique).
- La nature de traitement (temporisation, comptage, etc).
- La fiabilité et la robustesse.
- L'immunité aux parasites et aux bruits.
- Le service après vente et la durée de garantie.
- La formation et la documentation.

Il est primordial de connaître le nombre d'entrées, et de sorties du système (machine de fabrication des contre portes frigorifiques), afin d'adapter l'automate. Pour les entrées,

tous ce qui est capteurs, interrupteurs, boutons poussoirs, etc. Pour les sorties, tous ce qui est actionneurs, comme les moteurs, les vérins, etc.

Ainsi, pour notre système nous avons besoin de :

- Nombre d'entrées : 29.
- Nombre de sorties : 33.

3. L'automate S7-300

Le choix d'un automate performant, intégrant plus de modules d'entrées / sorties impose de choisir l'automate S7-300. Les caractéristiques de l'API S7-300 convient parfaitement à ces exigences car il peut gérer, sans extension, 256 entrées/sorties et avec extension jusqu'à 1024 entrées /sorties (numérique, logique ou analogique).

3.1. Constitution de l'automate S7-300

L'automate programmable S7-300, de la famille SIMATIC, est un système d'automatisation modulaire (Figure IV.3). Il est d'une forme compacte et permet un vaste choix de gamme des modules suivants :

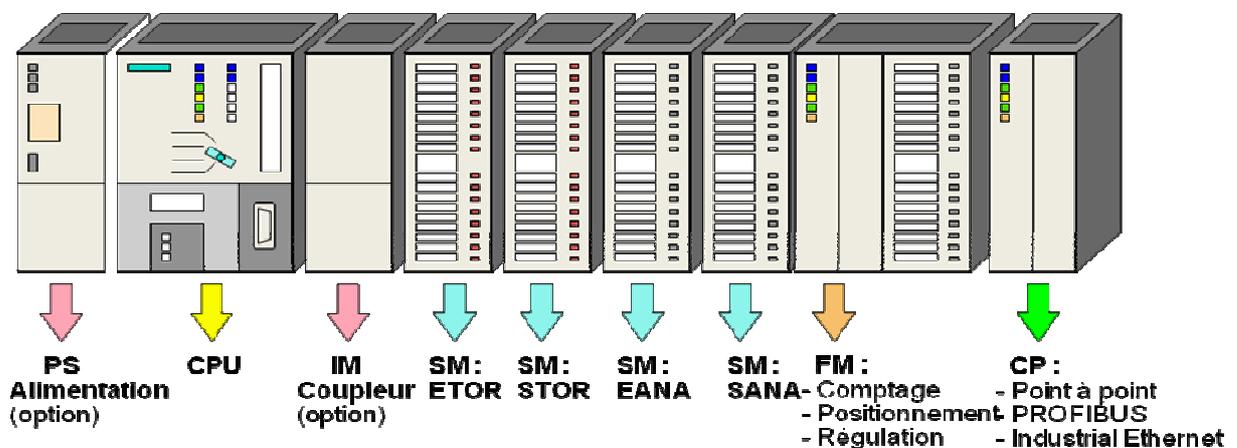


Figure IV.3 : constitutions d'un API S7-300.

- ✓ Module d'alimentation (PS) 2A ,5A, 10A.
- ✓ Unité centrale CPU 314 travaillant avec une mémoire de 48 KO. Sa vitesse d'exécution est de 0.3ms/1Ko instructions.
- ✓ Modules d'extension (IM) pour configuration multi rangée de S7-300.
- ✓ Modules de signaux (SM) pour entrées et sorties TOR et analogiques.
- ✓ Module de fonction (FM) pour les fonctions spéciales (par exemple activation d'un moteur asynchrone).

- ✓ Processus de communication (CP) pour la connexion au réseau.
- ✓ Châssis d'extension (UR).

3.1.1. Le module d'alimentation (PS)

Il transforme la tension secteur en tension d'alimentation pour les modules électriques de l'automate programmable. Cette tension s'élève à 24 V.

Les tensions qui dépassent 24 V, comme pour les capteurs, actionneurs et voyants lumineux sont fournies par des blocs d'alimentations ou transformateurs supplémentaires.

3.1.2. Description de la CPU

La CPU (Central Processing Unit) est le cerveau de l'automate. Elle lit les états des entrées, ensuite, elle exécute le programme utilisateur en mémoire et enfin, elle commande les sorties.

Elle comporte une unité de commande et de calcul, des mémoires, un programme système et des interfaces vers les modules de signaux.

La CPU est constituée de :

- Interfaces MPI : Chaque CPU est équipée d'une interface MPI pour la connexion de la console de programmation (PG) ou un autre appareil (par exemple adaptateur PC).
- Commutateur de mode du fonctionnement : Le commutateur de mode du fonctionnement permet de changer le mode de fonctionnement. Les modes de fonctionnement suivants sont possibles :
 - **RUN-P** : exécution de programme, accès en écriture et en lecture avec la PG.
 - **RUN** : exécution de programme, accès en lecture seule avec la PG.
 - **STOP** : le programme n'est pas exécuté, toutes les fonctions avec la PG sont autorisées.
- Signalisation des états : Certains états de l'automate sont signalés par des leds, sur la face avant de la CPU, tel que :
 - **SF** : signalisation groupée des défauts, défauts internes de la CPU ou d'un module avec fonction diagnostique.
 - **BATF** : défaut de pile, pile à plat ou absente.
 - **DC5v** : signalisation de tension d'alimentation 5V (allumé : les 5V sont présente, clignote : surcharge courant).

- **FCRE** : forçage signalisation qu'au moins une entrée ou une sortie est forcée de manière permanente.
- **RUN** : clignotement lors de la mise en route de la CPU, allumage continue en mode RUN.
- **STOP** : allumage continue en mode STOP, clignotement long lorsqu'un effacement général est requis, clignotement rapide lorsqu'un effacement général est en cours.
- La carte mémoire : Une carte mémoire peut être montée à la CPU. Elle conserve le contenu du programme en cas de coupure de courant, même à l'absence de la pile.
- La pile : Elle permet de sauvegarder le contenu de la RAM en cas de coupure de courant.

La gamme S7-300 offre une grande variété de CPU. Chaque CPU possède certaines caractéristiques différentes des autres et par conséquent le choix de la CPU est conditionné par les caractéristiques offertes par la CPU choisie.

3.1.3. Modules de coupleurs (IM)

Les coupleurs peuvent être utilisés pour un couplage sur de courtes distances, et sur de longues distances. Il est recommandé d'émettre les signaux via le bus Profibus. Les coupleurs IM 360/IM 361 ou IM 365 permettent de réaliser des configurations à plusieurs châssis.

3.1.4. Module de signaux (SM)

Il comporte plusieurs signaux tels que : STOR, ETOR, SANA, EANA ou E/SANA et E/STOR. Ils ont comme fonction l'adaptation des niveaux de signaux entre le processus et le S7-300.

3.1.5. Modules d'entrées / sorties tout ou rien (TOR)

Les modules d'entrées sorties TOR sont des interfaces pour signaux tout ou rien de l'automate. Ces modules permettent de raccorder, à l'automate S7 300, des capteurs et des actionneurs tout ou rien les plus divers.

3.1.6. Modules d'entrée et de sortie analogiques

Les modules d'entrées/sorties analogiques réalisent la conversion des signaux analogiques, issus de processus, en signaux numériques pour le traitement interne dans le S7-300, et des signaux numériques, du S7-300, en signaux analogiques destinés au processus.

3.1.7. Module de fonction (FM)

Il a pour rôle l'exécution des tâches du traitement des signaux du processus à temps critique et nécessitant une importante capacité mémoire comme le comptage, le positionnement et la régulation.

3.1.8. Modules de communication (CP)

Ils permettent d'établir des liaisons homme-machine ou machine-machine. Ces liaisons sont effectuées à l'aide des interfaces de communication :

- Point à point.
- Profibus.
- Industriel Ethernet.

3.1.9. Châssis d'extension (UR) (rack)

Il est constitué d'un profilé support en aluminium, permettant le montage et le raccordement électrique de divers modules.

3.2. Fonctionnement de base d'un API

3.2.1. Module central CPU

Dans la CPU (Module central), le processeur traite le programme se trouvant dans la mémoire et interroge les entrées de l'appareil pour savoir si elles délivrent de la tension ou pas.

En fonction de cet état des entrées, et du programme se trouvant en mémoire, le processeur ordonne au module de sorties de commuter sur le connecteur de la barrette de connexion correspondante. En fonction de l'état de tension sur les connecteurs des modules de sortie, les appareils à positionner et les lampes indicatrices sont connectés ou déconnectés.

3.2.2. Réception des informations sur les états du système

Le S7-300 reçoit des informations sur l'état du processus via les capteurs de signaux reliés aux entrées. Le S7-300 met à jour la mémoire image des entrées au début de chaque cycle de programme, en transférant le nouvel état des signaux d'entrées des modules vers la mémoire image des entrées. Ce qui permet à la CPU de savoir l'état du processus.

3.2.3. Exécution du programme utilisateur

Après avoir acquis les informations d'entrées et exécuter le système d'exploitation, la CPU passe à l'exécution du programme utilisateur, qui contient la liste d'instructions à exécuter pour faire fonctionner le procédé.

3.2.4. Commande du processus

Pour commander le processus, on doit agir sur les actionneurs. Ces derniers reçoivent l'ordre via le module de sortie du S7-300. Donc, l'état des sorties est connu après l'exécution du programme utilisateur par la CPU, puis elle effectue la mise à jour de la mémoire image des sorties pour communiquer au processus le nouvel état.

3.3. Programmation de l'automate S7-300

La programmation des automates de la famille S7 se fait par la console de programmation ou par PC et sous un environnement WINDOWS, via le langage de programmation STEP7. La programmation en STEP7 présente trois modes de représentations qui peuvent être combinés dans une même application :

- schéma à contacts « CONT » ;
- logigramme « LOG » ;
- liste d'instruction « LIST ».

Dans la mémoire de programmation de l'automate, le programme est toujours stocké en LIST (plus exactement en langage machine).

A. Schéma à contacts (CONT)

Le schéma à contacts est une représentation graphique de la tâche d'automatisation ayant recours aux symboles (Figure IV.4). C'est un langage des habitués des schémas électriques.

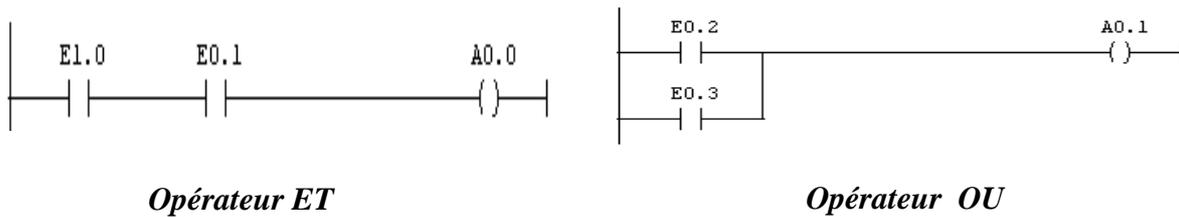


Figure VI.4 : représentation des opérations ET, OU par CONT.

B. Logigramme (LOG)

Le logigramme est une représentation graphique ayant recours aux symboles de la logique. Les différentes fonctions sont représentées par un symbole avec indicateur de fonction. Les entrées sont disposées à gauche du symbole, et les sorties à sa droite (Figure IV.5).



Figure IV.5 : représentation des opérations ET, OU par LOG.

C. Liste d'instructions (LIST)

La tâche d'automatisation est écrite dans ce cas à l'aide des différentes instructions. C'est un langage qui s'apparente au langage machine.

Remarque : Les programmes en CONT et en LOG sont en principe toujours traduisibles en LIST.

3.3.1. Création d'un projet STEP7

Pour créer un projet STEP7 on dispose d'une certaine liberté d'action. En effet, on a deux solutions possibles (Figure IV.6) :

- **Solution 1** : commencer par la configuration matérielle.
- **Solution 2** : commencer par la création du programme.

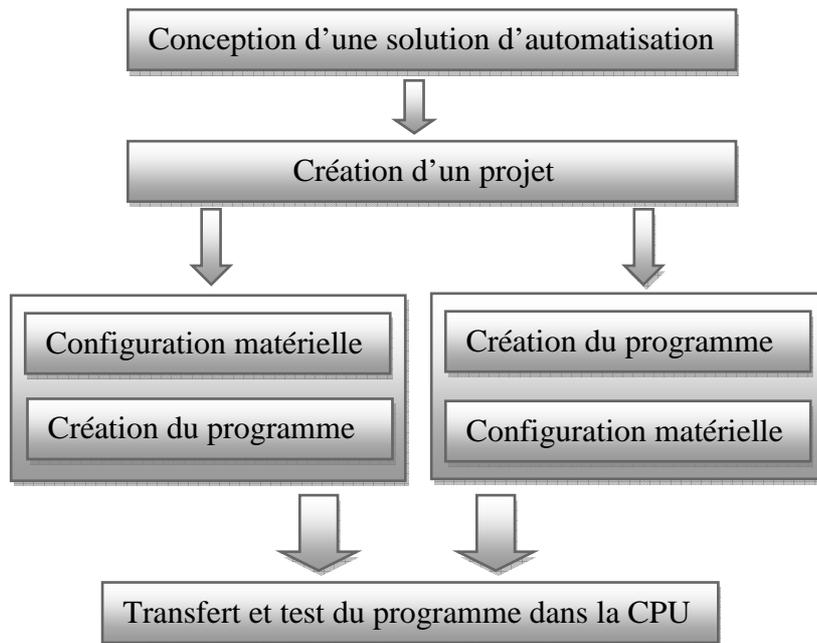


Figure IV.6 : les deux solutions possibles pour la programmation.

L'application de la configuration matérielle de STEP7 présente l'avantage de la sélection automatique des adresses.

La création de projet se fait comme suit :

- Double clique sur l'icône SIMATIC Manager sur le bureau Windows : ceci lance l'assistant de STEP7. La fenêtre illustrée en figure IV.7 apparaît. Elle permet la création d'un nouveau projet.



Figure IV.7 : assistant de STEP7 ' nouveau projet'.

- En cliquant sur l'icône suivant, la fenêtre suivante apparaît (Figure IV.8). Elle nous permet de choisir la CPU. Pour notre projet nous avons choisi la CPU 314.



Figure IV.8 : fenêtre du choix de la CPU.

- Après validation de la CPU, la fenêtre qui apparaît (Figure IV.9) permet de choisir les blocs à insérer, et de choisir le langage de programmation (LIST, CONT, LOG). Pour notre projet nous avons choisi l'OB1 (cycle d'exécution) et le langage à contacts.

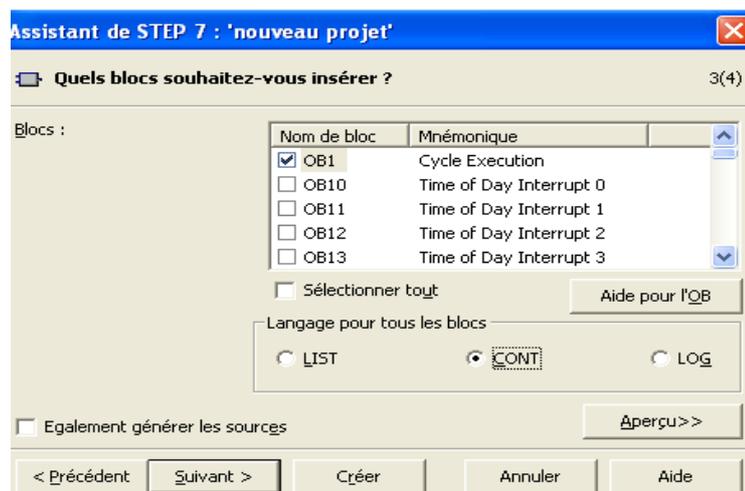


Figure IV.9 : fenêtre du choix des blocs et le langage.

- En cliquant sur suivant, la fenêtre suivante apparaît pour le nomination du projet (Figure IV.10).

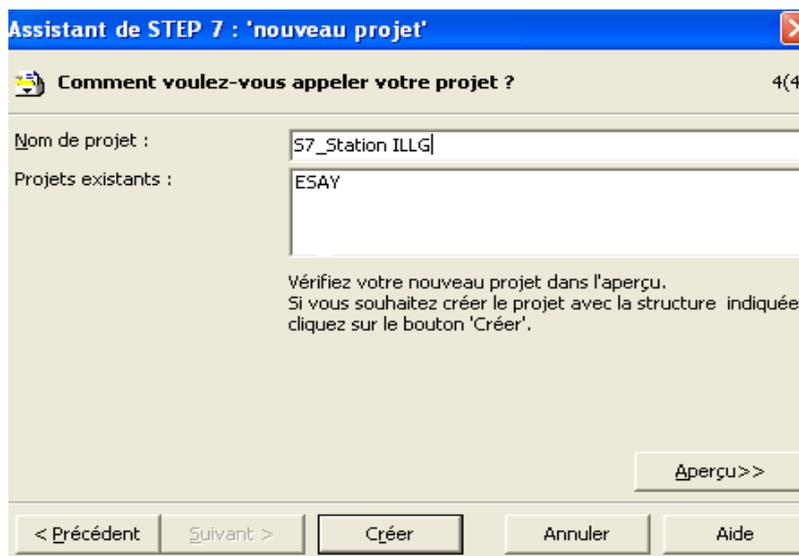


Figure IV.10 : fenêtre de nomination du projet.

3.3.2. Configuration matérielle de l'automate

La configuration matérielle consiste en la disposition des châssis (racks), des modules et d'appareils de la périphérie centralisée. Les châssis sont représentés par une table de configuration, dans laquelle on peut placer un nombre défini de modules, comme dans les châssis réels. STEP 7 affecte automatiquement une adresse à chaque module dans la table de configuration.

Pour notre système, nous avons choisi une configuration dans laquelle nous avons (Figure IV.11) :

- un rack ;
- le module d'alimentation PS 307 5A ;
- la CPU 314 ;
- un (01) module d'entrée logique de 32 bits ;
- deux (02) modules de sortie logique de 32 bits.

(0) UR						
Emplacement	Module	Référence	Firmware	Adresse MPI	Adresse d'entrée	Adresse de sortie
1	PS 307 5A	6ES7 307-1EA00-0AA0				
2	CPU 314	6ES7 314-1AE01-0AB0		2		
3						
4	DI32xDC24V	6ES7 321-1BL00-0AA0			0...3	
5	DO32xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BL00-0AA0				4...7
6	DO8xDC24V/0.5A	6ES7 322-8BF80-0AB0				8
7						
8						

Figure IV.11 : configuration matérielle de notre automate.

Sauvegardons cette configuration en cliquant sur l'item **Enregistrer**, du menu déroulant Fichier.

3.3.3. Création de la table des mnémoniques

Les mnémoniques permettent de déclarer les différentes entrées/sorties de la machine ainsi que les mémentos utilisés afin de : mieux les distinguer et faciliter la simulation du programme, rendre le programme utilisateur très lisible, et aider donc à gérer facilement les grands nombres de variables, couramment rencontrées dans ce genre de programme.

3.3.4. Adressage des modules du S7-300

On a deux types d'adressage :

- **Adressage lié à l'emplacement** : il s'agit du mode d'adressage par défaut, c'est-à-dire que le STEP7 effectue, à chaque numéro d'emplacement, une adresse défaut du modèle fixé à l'avance.
- **Adressage libre** : dans ce mode d'adressage, il faut effectuer à chaque mode une adresse de votre choix, pourvu qu'elle soit contenue dans la plage d'adresses possible de la CPU.

Seule la CPU 315-2DP permet cette liberté d'adressage au sein du S7-300.

3.3.5. Mémentos

Les mémentos sont utilisés pour les opérations internes à l'automate, pour lesquelles l'émission d'un signal n'est pas nécessaire. Ce sont des bistables servant à mémoriser les états logiques '0' ou '1'. Chaque automate programmable dispose d'un grand nombre de mémentos (S7-300 dispose de 2048 bits de mémentos).

3.3.6. Traitement du programme par l'automate

La CPU traite le programme d'une manière cyclique en plusieurs phases :

- **Phase 1** : le système d'exploitation démarre la surveillance du temps de cycle.
- **Phase 2** : la CPU lit l'état des entrées, dans les modules d'entrées, et met à jour la mémoire image des entrées.
- **Phase 3** : la CPU exécute les instructions du programme utilisateur.
- **Phase 4** : la CPU écrit les résultats dans la mémoire image des sorties, puis elle transfère ces derniers, vers les modules de sorties.

- **Phase 5** : à la fin du cycle, le système d'exploitation exécute les travaux en attente, tel que le chargement et l'effacement des blocs ou la réception et l'émission des données globales.
- **Phase 6** : la CPU revient alors au début du cycle et démarre à nouveau la surveillance du temps du cycle.

3.3.7. Principe de conception d'une structure du programme

Pour chaque solution d'automatisation, la CPU exécute deux types de programmes différents : le système d'exploitation et le programme utilisateur.

Le système d'exploitation, contenu dans la CPU, organise toutes les fonctions et procédures qui ne sont pas liées à une tâche d'automatisation spécifique. Ces tâches sont les suivantes :

- Le déroulement de démarrage ou de redémarrage.
- L'actualisation de la mémoire image des entrées et l'émission de la mémoire image des sorties.
- L'appel du programme utilisateur.
- L'enregistrement des alarmes et l'appel des blocs d'alarmes.
- La détection et le traitement d'erreurs.
- La gestion des zones de mémoire.
- La communication avec des consoles de programmation et d'autres partenaires de communication.

Le programme utilisateur est chargé dans la CPU. Il contient toutes les fonctions nécessaires au traitement de la tâche d'automatisation. En plus il doit prendre en charge :

- La détermination des conditions pour le démarrage et le redémarrage de la CPU (exemple : initialisation des signaux).
- La réaction aux alarmes.

Le traitement des données de processus (exemple : combiner des signaux binaires, écrire des valeurs analogiques).

3.3.8. Les blocs dans le programme utilisateur

Il faut subdiviser le procédé à automatiser en ses différentes tâches. Les parties d'un programme utilisateur structuré, correspondants à ces différentes tâches, sont les blocs du programme.

Le STEP7 offre la possibilité de structurer notre programme utilisateur, c'est-à-dire le subdiviser en différentes parties autonomes qui donnent les avantages suivants :

- D'écrire clairement les programmes importants.
- D'organiser le programme, et de simplifier son test.
- De modifier facilement le programme.

Le logiciel STEP7, dans ses différents langages de programmation, possède un nombre important de blocs utilisateurs, destinés à structurer le programme utilisateur. On peut citer les blocs importants suivants :

- **Bloc d'organisation (OB)** : les blocs d'organisations constituent l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur. Ces blocs déterminent la structure du programme et ne peuvent être appelés par le système que selon leurs priorités. Cela revient à dire que l'exécution d'un OB peut être interrompue par l'appel d'un autre OB plus prioritaire.
- **Bloc fonctionnel (FB)** : un bloc fonctionnel est un bloc avec rémanence (mémoire). Un bloc d'instance qui en constitue la mémoire.
- **Fonction (FC)** : blocs sans mémoire. Les FC contiennent des routines de programme pour les fonctions fréquemment utilisées. Les fonctions peuvent faire appel à des blocs de données globaux pour la sauvegarde des données.
- **Bloc de données (DB)** : ils servent à stocker le programme utilisateur.

Remarque : Des blocs souvent utilisés, au besoin du système tel que les blocs fonctionnels système (SFB) et les fonctions système (SFC) et blocs de données système (SDB), sont intégrés au logiciel.

3.3.9. Structure du programme utilisateur

Le programme peut être linéaire ou structuré en fonction de la nature de la tâche d'automatisation (Figure IV.13).

A. Programme linéaire

Utilisé pour la résolution des tâches d'automatisation simple, les différentes instructions sont programmées dans le bloc d'organisation.

B. Programme structuré

Utilisé pour la résolution des tâches complexes, en subdivisant l'ensemble du programme en blocs qui sont affectés à des tâches. Il s'agit des blocs du programme.

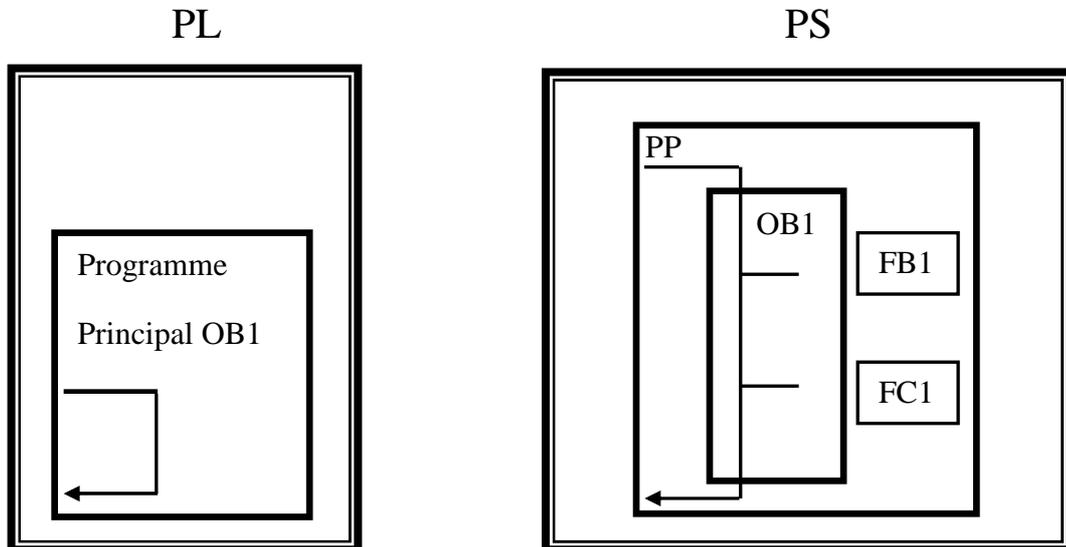


Figure IV.13: schéma illustrant le traitement du programme par la CPU.

C. Notre structure du programme utilisateur

Pour la facilité de la programmation, nous avons partagé le programme en 3 fonctions FC, que nous avons regroupé sous une solution structurée dans OB1 (Figure IV.14). L'OB 1 est la structure importante du programme, il constitue l'interface entre le programme utilisateur et le système d'exploitation, c'est-à-dire que la CPU exécute uniquement l'instruction qui se trouve sur ce bloc. Nous avons subdivisé le procédé à automatiser en ses différentes tâches. Nous avons choisi d'utiliser les fonctions FC qui, contrairement au bloc fonctionnel, ne possèdent pas de zone mémoire : les données locales d'une fonction sont perdues après l'exécution de la fonction. Une fois tous les FC programmés, nous les insérons dans le bloc d'organisation OB1, pour la phase de simulation.

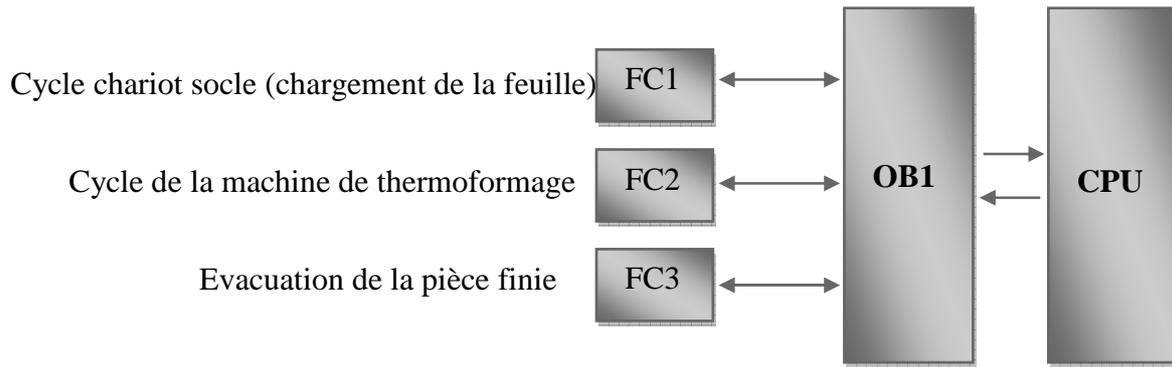


Figure IV.14 : schéma illustrant notre programmation structurée.

4. Implantation du Grafcet dans le S7-300

Après avoir bien étudié le procédé à automatiser et réaliser son grafcet, on doit implanter ce dernier dans le S7-300. Or la version du S7, dont nous disposons, ne possède pas de langage GRAFCET qui permet la transition de la modélisation à la commande.

Avec la possibilité offerte par le S7-300 en matière de langage, il existe toujours un moyen d'implanter le grafcet dans l'automate en vue de son exécution. Pour cela on doit suivre certaines étapes :

1. Analyser et valider le grafcet de la machine (blocage, conflit, etc.).
2. Détermination des conditions d'activation et de désactivation des étapes du grafcet.
3. Définition des exigences en matière de sécurité (les alarmes, AUD et AUd, etc.).
4. Affectation des mementos aux variables intermédiaires, et des adresses effectives et formelles aux entrées et sorties.
5. Ecriture des équations des étapes.
6. Traduction de ces équations en programme séquentiel, en utilisant l'un des langages offerts par le STEP7 (List, Cont et Log).
7. Raccorder toutes les entrées / sorties et la PG à l'automate.
8. Après avoir choisi la configuration matérielle et simuler le programme, on procède au chargement du projet dans la CPU physique.
9. On lance la machine en la mettant en mode RUN.
10. Après validation du projet, on peut commencer la production.

Le programme principal de notre station (machine) est donné dans l'annexe C

5. Simulation du programme

Après avoir défini les différentes étapes de la création d'un programme, l'étape suivante sera destinée à la simulation du programme avec le logiciel S7-PLCSIM (simulation de modules).

5.1. Présentation du S7-PLCSIM

Le S7-PLCSIM est le logiciel de simulation du programme créé par l'utilisateur. Il permet de visualiser les différents tests du programme. Son installation nécessite le logiciel STEP 7 pour réaliser le fonctionnement exact d'un automate réel.

Le S7-PLCSIM dispose d'une interface simple nous permettant de visualiser et de forcer les différents paramètres utilisés par le programme (comme activer ou désactiver des entrées). Tout en exécutant le programme dans l'API de simulation, nous avons également la possibilité de mettre en œuvre les diverses applications du logiciel STEP7 comme, par exemple, le test de blocs afin de visualiser les variables d'entrées et de sorties.

5.2. Mise en route du logiciel S7-PLCSIM

Le mode de simulation est disponible à partir du gestionnaire de projet SIMATIC, à condition qu'aucune liaison à des API réels ne soit établie. On peut suivre la procédure suivante pour la mise en route du logiciel S7-PLCSIM :

- Ouvrir le gestionnaire de projet SIMATIC.
- Cliquez sur  ou sélectionnez la commande Outils-simulation de modules. Cela lance l'application S7-PLCSIM et ouvre une fenêtre CPU (Figure IV.15).

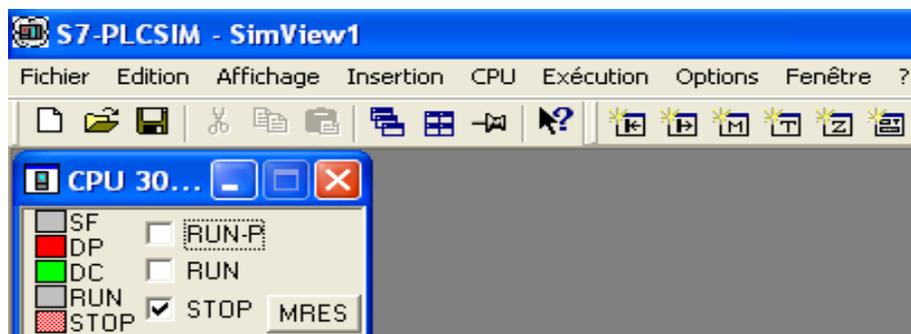


Figure IV.11 : fenêtre du S7-PLCSIM.

- Dans le gestionnaire de projets SIMATIC, chercher le projet-exemple projet « machine ILLIG ».
- Dans le projet exemple « projet Machine ILLIG », chercher le dossier blocs.
- Dans le gestionnaire de projet SIMATIC, cliquez sur  ou choisir la commande Système cible-Charger, pour charger le dossier blocs dans l'API de simulation.
- Dans l'application S7-PLCSIM, créer de nouvelles fenêtres pour visualiser les informations provenant de l'API de simulation.
- Cliquez sur  ou choisissez la commande Insertion-Entrée pour créer une fenêtre, dans laquelle on peut visualiser et forcer des variables dans la zone de mémoire des entrées (zone E). Cette fenêtre s'ouvre avec l'adresse de mémoire par défaut EB0. Mais on peut modifier l'adresse (EB1, EB2, etc.).
- Cliquez sur  ou choisissez la commande Insertion-Sortie pour créer une fenêtre, dans laquelle on peut visualiser et forcer des variables dans la zone de mémoire des sorties (zone A). Cette fenêtre s'ouvre avec l'adresse de mémoire par défaut AB0. Mais on peut modifier l'adresse (AB1, AB2, etc.).
- Cliquez sur  ou choisissez la commande Insertion-Temporisation pour créer une fenêtre dans laquelle on peut visualiser et forcer les temporisations utilisées par le programme. Cette fenêtre s'ouvre avec l'adresse de mémoire par défaut T0.
- Choisir le menu CPU dans la fenêtre du S7_PLCSIM et vérifier que la commande « mettre sous tension » est activée (Figure IV.16).

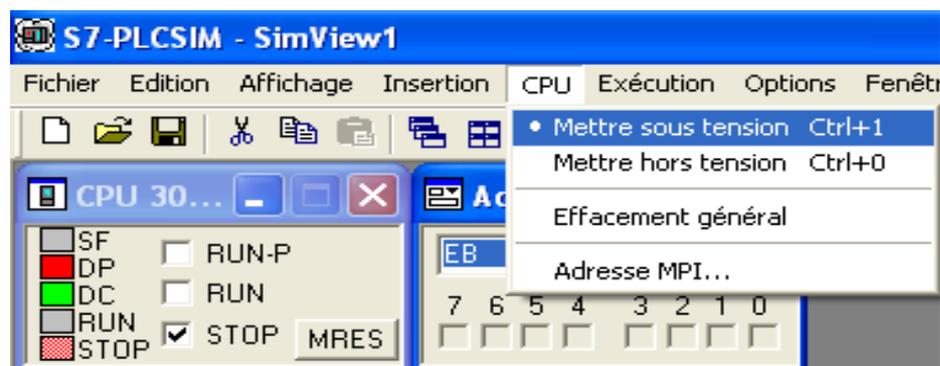


Figure IV.16 : mise sous tension de la CPU.

- Choisir la commande Exécution-Mode d'exécution et vérifier que la commande cycle continu est activée (Figure IV.17).

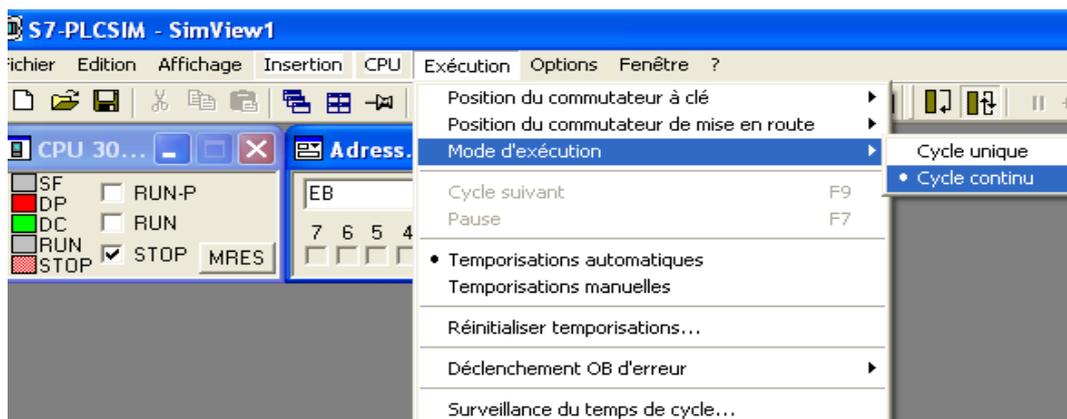


Figure IV.17 : choix du cycle continu.

- Mettre la CPU de simulation en marche en cliquant sur l'une des cases à cocher RUN ou RUN-P (Figure IV.18).



Figure IV.18 : mise en marche de la CPU.

- Une fois toutes les fenêtres d'entrées et de sorties sont prêtes, nous activons les entrées voulues pour lire l'état des sorties.

5.3. Visualisation de l'état du programme

Après le chargement du programme dans la CPU du simulateur et la mise de cette dernière en mode « RUN », le STEP7 nous permet de visualiser l'état du programme soit en cliquant sur l'icône  ou en sélectionnant la commande Test-Visualiser (Figure V.19).

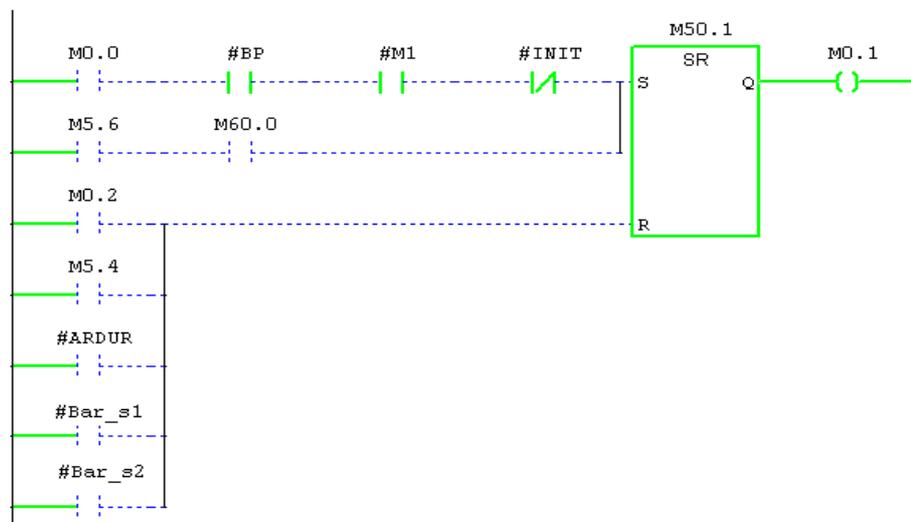


Figure IV.19 : visualisation de l'état de notre programme.

5.4. Simulation des différents blocs du programme de notre machine

Après avoir réalisé le programme sous STEP 7, l'étape suivante c'est de le simuler sous S7-PLCSIM afin d'assurer la commande du procédé. Dans ce cas, on suit les étapes suivantes :

- **Etape 1** : simulation du programme par bloc, c'est-à-dire charger chaque FC tout seul puis effectué la simulation.
- **Etape 2** : simulation du cycle complet, c'est-à-dire charger tous les blocs FC (FC1, FC2, FC3) puis effectuer la simulation du cycle.

5.4.1. Simulation de FC1 dans OB1

Dans notre cas, la préparation et le chargement des feuilles du socle vers la machine est donnée par la figure IV.20.

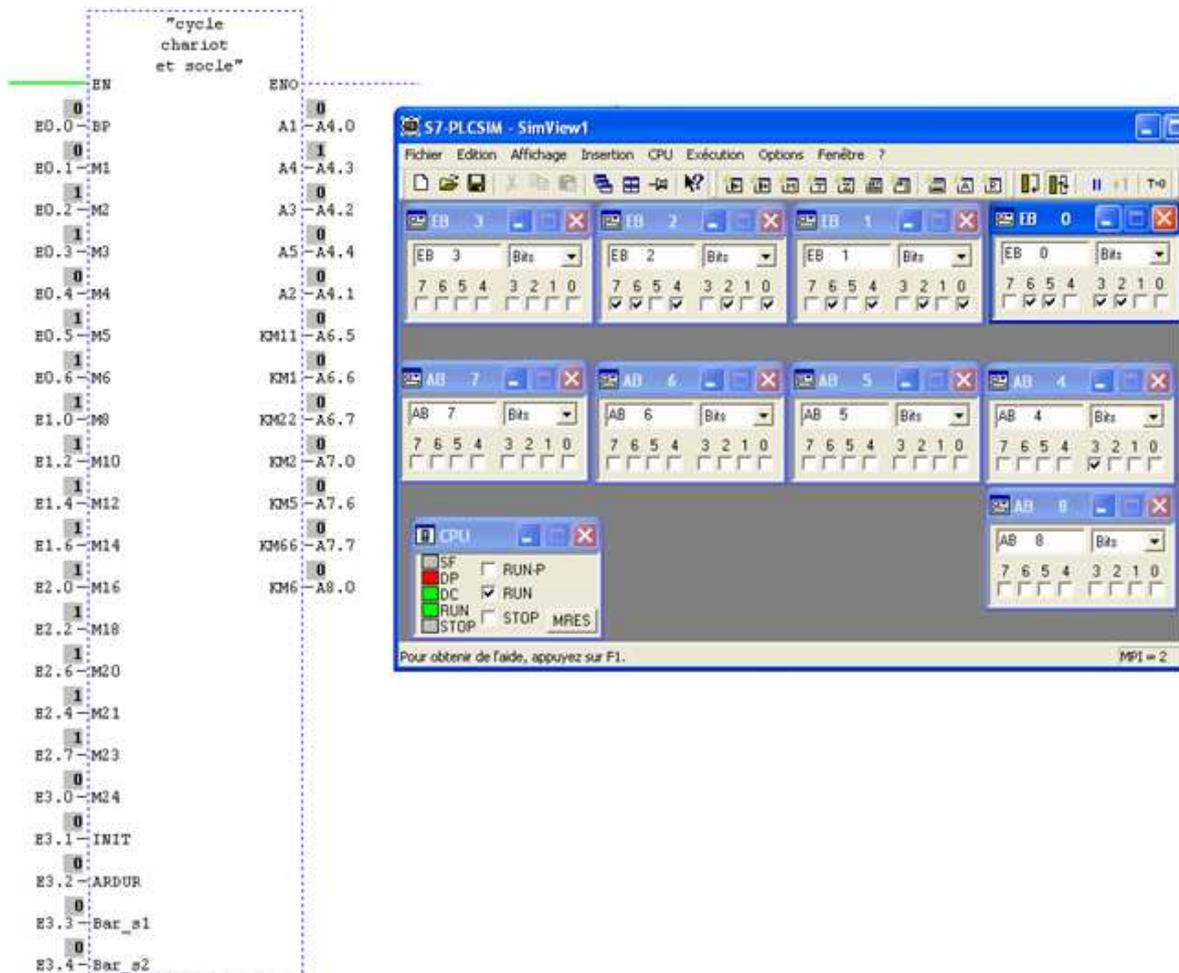


Figure VI.20 : simulation de FC1.

5.4.2. Simulation de FC2 dans OBI

La simulation du cycle de la machine (thermoformage) est donnée par la figure IV.21.

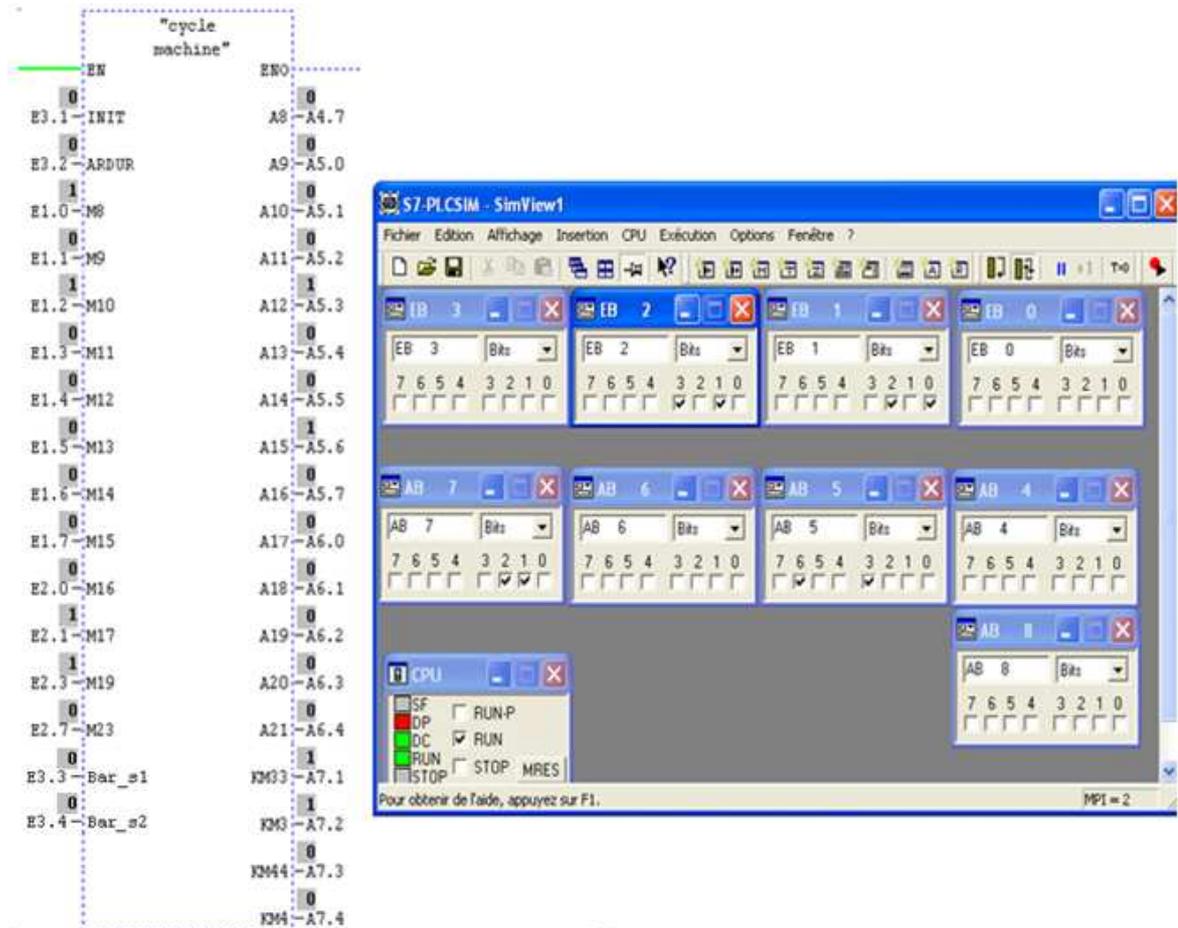


Figure VI.21 : simulation de FC2.

5.4.3. Simulation de FC3 dans OBI

La simulation de l'évacuation de la pièce finie est représentée dans la figure IV.22 :

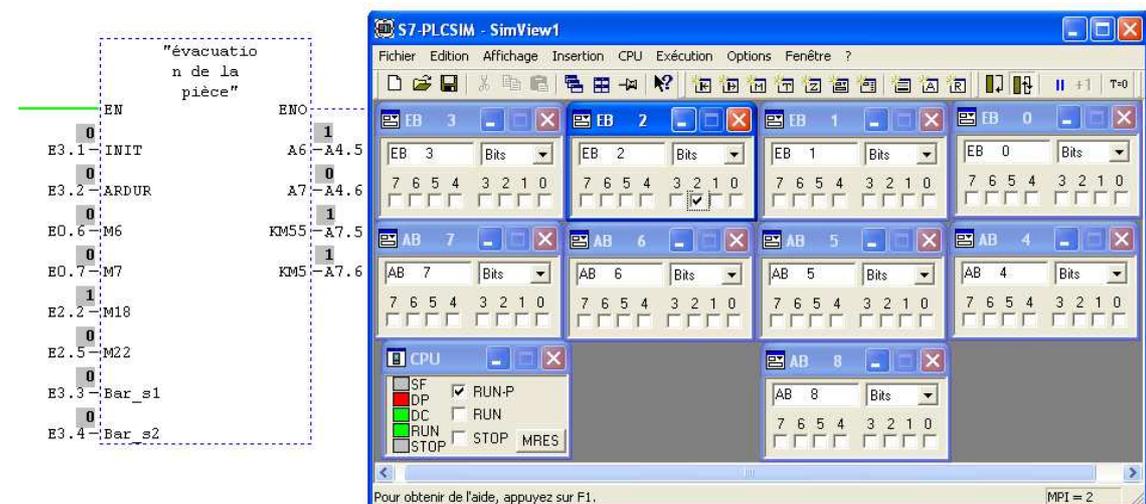
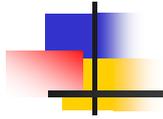


Figure VI.22 : simulation de FC3.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié, brièvement, les automates programmables industriels S7-300 de SIEMENS et leur logiciel de programmation STEP 7. Cette étude nous a permis de comprendre leur fonctionnement et leurs rôles dans un système automatisé ainsi que de se familiariser avec le logiciel et le langage de programmation des automates S7-300.

Dans ce chapitre, faute de non disposition du matériels, nous avons simulé notre station programmé sous le logiciel PLCSIM, qui nous à permis de la tester et de visualiser le comportement des sorties.



Conclusion générale

Le stage pratique que nous avons effectué, au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager (ENIEM) (Oued-Ainsi), a été bénéfique pour nous en double plan. Le premier plan est celui de la pratique, ceci du fait que s'était une occasion pour nous de voir et comprendre concrètement les mécanismes de contrôle automatique. En second plan, nous avons eu une opportunité d'avoir un thème de contribution à la solution d'un problème réel qui fait l'objet de notre mémoire.

Il s'agit du développement et automatisation d'une machine de fabrication des contres portes frigorifiques. Non seulement nous avons proposé une solution pour le problème posé, mais nous avons apporté une amélioration à tout le système de commande et d'automatisation de l'installation, tout en respectant l'ordre de déroulement de toutes les opérations déjà existantes (cycle de la machine de thermoformage).

C'est ainsi que nous avons opté pour l'automate S7 300 qui nous offre la possibilité d'acquisition des entrées analogiques et qui nous offre aussi la possibilité d'extension.

Pour assurer le bon fonctionnement du programme développé, nous avons effectué les simulations avec le logiciel de simulation S7-PLCSIM.

Toutefois, nous espérons que ce travail puisse apporter un plus et constituer un support supplémentaire aux promotions à venir.